



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2018/2019

**AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO CICLO DE VIDA DA ROLHA DE
CORTIÇA NATURAL E DE UMA TÉCNICA PRODUZIDAS NA EMPRESA
CORK SUPPLY PORTUGAL**

GONÇALO DE ALMEIDA MONTEIRO SOUSA AMORIM

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Maria Cristina da Costa Vila
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia de Minas da Faculdade de
Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador acadmico: Belmira de Almeida Ferreira Neto
(Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

Orientador na empresa: Ana Cristina Lopes Cardoso
(Diretora de Investigação e Desenvolvimento da Cork Supply Portugal)

Janeiro, 2019

AGRADECIMENTOS

Queria dedicar esta tese e agradecer a todas as pessoas que, de alguma forma, me apoiaram e me motivaram. Sem eles a concretização deste trabalho não era possível.

Em primeiro lugar, gostava de agradecer à minha família, pais e irmãs, por todo o apoio em todas as etapas da minha vida.

À minha namorada, Laura, por todo o apoio incondicional, motivação e por nunca me deixar desistir.

A todos os meus amigos, por todos os momentos de descontração e companheirismo.

À minha orientadora, Prof. Belmira Neto, por toda a disponibilidade, conselhos e orientação ao longo deste trabalho.

A toda a equipa da Cork Supply Portugal pela maneira como me integraram na empresa e que de alguma maneira me ajudaram. Em especial à minha orientadora, Eng^a Ana Cristina Cardoso, por toda a disponibilidade e por ter sido incansável ao longo de todo o trabalho.

RESUMO

Portugal é o país que detém maior área de floresta de sobreiro e líder mundial na produção de produtos de cortiça. O setor corticeiro apresenta elevada relevância para a economia portuguesa, sendo um setor ao qual estão associadas receitas e taxas de exportação consideráveis. As rolhas de cortiça, usadas como vedante de garrafa de vinho, são o produto nobre e mais lucrativo da indústria corticeira. A produção nacional atual de rolhas de cortiça é de quatro milhões de unidades por dia, representando uma cota de cerca 72% de todos os produtos de cortiça produzidos em Portugal. Dada a importância das rolhas de cortiça para Portugal, é interessante avaliar quais as consequências ambientais inerentes à produção das mesmas. Assim, este trabalho tem como principais objetivos a avaliação do impacto ambiental associado aos ciclos de vida das rolhas naturais e das rolhas técnicas mais comercializadas, e ainda a avaliação comparativa dos impactos ambientais de ambas as rolhas. Esta comparação permite identificar a rolha mais prejudicial ao meio ambiente ao longo de todas as etapas do ciclo de vida.

Nesta dissertação, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é aplicada às rolhas de cortiça, de forma a avaliar o seu impacto ambiental. O sistema estudado inclui as etapas de gestão florestal, preparação da cortiça, fabricação de ambas as rolhas, acabamento final, transportes e gestão de fim de vida. Segundo a metodologia ACV, os dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema são inventariados com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos naturais associados. Os dados utilizados são estimados com base em informação disponibilizada por uma empresa nacional fabricante de rolhas de cortiça. Recorrendo ao programa SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017) com a utilização da metodologia de avaliação de impactos CML-IA baseline (versão 3.04), é então avaliado o potencial impacto ambiental global para cada uma das seguintes onze categorias de impacto: Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (GWP 100a), Depleção da camada de ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade em água doce, Ecotoxicidade marinha, Ecotoxicidade terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização.

Os resultados obtidos demonstram que a rolha de cortiça técnica é mais poluente comparativamente à rolha natural, apresentando contribuições superiores para a maior parte das categorias de impacto estudadas. Para ambas as rolhas, as etapas mais preocupantes, do ponto de vista ambiental, são a produção das rolhas e posteriormente os transportes e distribuição das

rolhas para os clientes engarrafadores. As principais fontes de poluentes são, no caso da rolha natural, os reagentes utilizados na Lavação, durante a etapa de produção da rolha, ao passo que para a rolha técnica são os consumos excessivos de energia elétrica e de gás natural utilizados na produção desta rolha. Estes resultados permitem identificar e avaliar os processos críticos associados aos ciclos de vida destas rolhas, para os quais devem ser estudadas alternativas que permitam reduzir os impactes ambientais gerados.

ABSTRACT

Portugal is the country with the largest area of cork oak forest and the world leader in the production of cork products. The cork sector has a high relevance for the Portuguese economy being a sector, to which are associated considerable revenues and export taxes. Cork stoppers, used as a wine bottle seal, are the noble and most profitable product of the cork industry. The current national production of cork stoppers is four million units per day, representing a quota of about 72% of all cork products produced in Portugal. Given the importance of cork stoppers for Portugal, it is interesting to evaluate the environmental consequences inherent in the production of these corks. Thus, this work has as main objectives the evaluation of the environmental impact associated with the life cycles of the most commercialized natural stoppers and technical stoppers, as well as the comparative evaluation of the environmental impacts of both stoppers. This comparison makes it possible to identify the most environmentally harmful cork throughout all stages of the life cycle.

In this dissertation, the methodology of Life Cycle Assessment (LCA) is applied to cork stoppers, to evaluate their environmental impact. The system studied includes the stages of forest management, cork preparation, manufacture of both stoppers, finishing, transport and end of life management. According to the LCA methodology, the data referring to each of the stages included in the system are inventoried based on the quantification of the pollutant emissions and consumption of associated natural resources. The data used are estimated based on information provided by a national cork stopper company. Based on the SimaPro version 8.5.2 (Pre Consultants, 2017) program and using the CML-IA baseline (version 3.04) impact assessment methodology, the potential global environmental impact is evaluated for each of the following eleven impact categories: Abiotic Depletion, Abiotic Depletion (fossil fuels), Global Warming (GWP 100a), Ozone layer depletion, Human Toxicity, Fresh water aquatic Ecotoxicity, Marine aquatic Ecotoxicity, Terrestrial Ecotoxicity, Photochemical Oxidation, Acidification and Eutrophication.

The results show that the technical cork is more polluting than the natural cork, presenting higher contributions for most of the impact categories studied. For both stoppers, the most worrying stages, from the environmental point of view, are the production of stoppers and then the Transport and distribution of stoppers for bottling customers. The main sources of pollutants are, in the case of natural cork, the reactants used in the Washing process, whereas for the

technical stopper are the excessive consumption of electricity and natural gas used in the production of the stopper. These results allow to identify and evaluate the critical processes associated with the life cycles of these stoppers, for which alternatives must be studied to reduce the environmental impacts generated.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
ÍNDICE GERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
GLOSSÁRIO	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 ENQUADRAMENTO	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE	4
2 O SETOR CORTICEIRO E O AMBIENTE.....	7
2.1 A IMPORTÂNCIA DO SETOR CORTICEIRO.....	7
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CORTICEIRO: ENFOQUE NO SUBSETOR ROLHEIRO.....	11
2.3 O SUBSETOR ROLHEIRO E O AMBIENTE	13
2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA ROLHA DE CORTIÇA	15
3 O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL E DA ROLHA TÉCNICA.....	21
3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ROLHAS	21
3.2 CICLO DE VIDA DA ROLHA DE CORTIÇA.....	22
3.2.1 GESTÃO FLORESTAL	24
3.2.2 PREPARAÇÃO DA CORTIÇA	28
3.2.3 PRODUÇÃO DAS ROLHAS	30

3.2.4 ACABAMENTO	40
3.2.5 TRANSPORTES	42
3.2.6 FIM DE VIDA	43
4 METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) DAS ROLHAS DE CORTIÇA	45
4.1 INTRODUÇÃO	45
4.2 A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA ÀS ROLHAS	48
4.2.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO.....	48
4.2.2 UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA	49
4.3 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)	52
4.3.1 GESTÃO FLORESTAL	56
4.3.2 PREPARAÇÃO DA CORTIÇA.....	59
4.3.3 PRODUÇÃO DAS ROLHAS.....	61
4.3.4 ACABAMENTO	67
4.3.5 TRANSPORTES	71
4.3.6 FIM DE VIDA	74
4.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA (AICV)	75
4.4.1 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS ROLHAS	75
4.4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTES	78
5 CONCLUSÕES, DISCUSSÃO, LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. MAPA DA LOCALIZAÇÃO DO MONTADO DE SOBRO E SUA DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA[11]	8
FIGURA 2. PERCENTAGEM DE ÁREA DE MONTADO EM PORTUGAL, POR REGIÃO[7].....	9
FIGURA 3. ESTRUTURA DAS VENDAS (EXPORTAÇÕES) DE CORTIÇA POR TIPO DE PRODUTOS EM VALOR, NO ANO DE 2016 [7].....	11
FIGURA 4. PRINCIPAIS PAÍSES CONSUMIDORES DE ROLHAS DE CORTIÇA PRODUZIDAS EM PORTUGAL[7].....	12
FIGURA 5. DISTRIBUIÇÃO DA CORTIÇA PELOS DIFERENTES SUBSETORES[14].....	15
FIGURA 6. ROLHA DE CORTIÇA NATURAL FIGURA 7. ROLHA DE CORTIÇA TÉCNICA	22
FIGURA 8. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO CICLO DE VIDA COMPLETO DAS ROLHAS DE CORTIÇA NATURAL E TÉCNICA.....	24
FIGURA 9. CADEIA PROCESSUAL DA GESTÃO FLORESTAL DOS MONTADOS DE SOBRO[19]	25
FIGURA 10. ETAPA DE ESTABILIZAÇÃO DO TERRENO[27]	26
FIGURA 11. ETAPA DE MANUTENÇÃO DA CULTURA[28].....	27
FIGURA 12. ETAPA DE EXTRAÇÃO DE CORTIÇA[28]	28
FIGURA 13. ETAPA DE RECUPERAÇÃO DO TERRENO	28
FIGURA 14. PROCESSO DE COZEDURA DAS PRANCHAS DE CORTIÇA[31]	29
FIGURA 15. PRANCHAS DE CORTIÇA COM DIFERENTES ESPESSURAS[32]	31
FIGURA 16. PROCESSO DE RABANEACÃO DAS PRANCHAS DE CORTIÇA[31]	31
FIGURA 17. PROCESSO DE BROCAGEM[31].....	32
FIGURA 18. PROCESSO DE LAVAÇÃO DAS ROLHAS[31].....	34
FIGURA 19. PROCESSO INNOCORK® DE DESODORIZAÇÃO DAS ROLHAS[33]	35
FIGURA 20. PROCESSO DE SELEÇÃO MANUAL DAS ROLHAS[31]	36
FIGURA 21. PROCESSO DE DESINFECÇÃO DO AGLOMERADO[34]	38
FIGURA 22. ROLHAS OBTIDAS NO PROCESSO DE AGLOMERAÇÃO[35]	39
FIGURA 23. CHANFRO DAS ROLHAS TÉCNICAS (FOTOGRAFIA DE UMA ROLHA PRODUZIDA NA CSP)	40
FIGURA 24. PROCESSO DE MARCAÇÃO DAS ROLHAS[31].....	42
FIGURA 25. PRINCIPAIS DESTINOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA OS PAÍSES MAIS CONSUMIDORES DAS ROLHAS DE CORTIÇA PRODUZIDAS NA CORK SUPPLY, NO ANO DE 2013 [36]	44

FIGURA 26. FASES DA METODOLOGIA LCA (ADAPTADO DE ISO 14040, 2008)	46
FIGURA 27. FRONTEIRAS DO SISTEMA EM ESTUDO PARA AMBAS AS ROLHAS. OS PROCESSOS REPRESENTADOS A LINHA TRACEJADA FORAM EXCLUÍDOS DESTE ESTUDO.	50
FIGURA 28. TRANSPORTES ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DAS ROLHAS EM ESTUDO	51
FIGURA 29. FLUXOS DE CORTIÇA DESDE A EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA (CORTIÇA DE ÁRVORE) ATÉ À PRODUÇÃO DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL (CORK SUPPLY, 2018)	53
FIGURA 30. FLUXOS DE CORTIÇA DESDE A EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA (CORTIÇA DE ÁRVORE) ATÉ À PRODUÇÃO DA ROLHA DE CORTIÇA TÉCNICA (CORK SUPPLY, 2018)	54
FIGURA 31. COMPARAÇÃO GRÁFICA DAS CONTRIBUIÇÕES PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE, REFERENTES A CADA UMA DAS ROLHAS EM ESTUDO (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017)).....	76
FIGURA 32. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DA ROLHA NATURAL USANDO A METODOLOGIA CML-IA BASELINE V3.04 (EU25) (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017))	78
FIGURA 33. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DA ROLHA TÉCNICA USANDO A METODOLOGIA CML-IA BASELINE V3.04 (EU25) (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017))	82

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. PRODUÇÃO EM MASSA DE CORTIÇA POR PAÍS, NO ANO DE 2016 [7]	9
TABELA 2. PRODUÇÃO ANUAL DE VINHO PARA OS QUATRO PRINCIPAIS PAÍSES[7]	13
TABELA 3. SELEÇÃO DE ESTUDOS DE ACV APLICADOS FOCANDO PRODUTOS DE CORTIÇA (ROLHAS NATURAIS E ROLHA DE CHAMPANHE) E A GESTÃO FLORESTAL DO SOBREIRO.....	17
TABELA 4. CARACTERÍSTICAS DA ROLHA NATURAL E DA TÉCNICA SELECIONADAS PARA A REALIZAÇÃO DO PRESENTE ESTUDO (CORK SUPPLY, 2018)	49
TABELA 5. INVENTÁRIO DA ETAPA DE GESTÃO FLORESTAL EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE ÀS DUAS ROLHAS DE CORTIÇA EM ESTUDO.....	57
TABELA 6. INVENTÁRIO DA ETAPA DE PREPARAÇÃO DA CORTIÇA EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE ÀS DUAS ROLHAS DE CORTIÇA EM ESTUDO.....	60
TABELA 7. INVENTÁRIO DA ETAPA DE PRODUÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA NATURAL, EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL	63
TABELA 8. INVENTÁRIO DA ETAPA DE PRODUÇÃO DAS ROLHAS DE CORTIÇA TÉCNICAS, EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL	66
TABELA 9. INVENTÁRIO DA ETAPA DE ACABAMENTO FINAL EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE À ROLHA DE CORTIÇA NATURAL	69
TABELA 10. INVENTÁRIO DA ETAPA DE ACABAMENTO FINAL EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE À ROLHA DE CORTIÇA TÉCNICA	70
TABELA 11. INVENTÁRIO DA ETAPA DOS TRANSPORTES EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE ÀS DUAS ROLHAS DE CORTIÇA EM ESTUDO.....	73
TABELA 12. INVENTÁRIO DA ETAPA DE FIM DE VIDA EXPRESSO EM FUNÇÃO DA UNIDADE FUNCIONAL, REFERENTE ÀS ROLHAS DE CORTIÇA EM ESTUDO.	74
TABELA 13. CONTRIBUIÇÕES PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE, REFERENTES A CADA UMA DAS ROLHAS EM ESTUDO (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017)).....	76
TABELA 14. AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS CONTRIBUIÇÕES DAS ROLHAS ESTUDADAS PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE.	77
TABELA 15. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DA ROLHA NATURAL E QUAL A SUA CONTRIBUIÇÃO PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017)).....	79

TABELA 16. IMPACTES AMBIENTAIS ASSOCIADOS AO CICLO DE VIDA DA ROLHA TÉCNICA E QUAL A SUA CONTRIBUIÇÃO PARA CADA CATEGORIA DE IMPACTE (SIMAPRO VERSÃO 8.5.2 (PRÉ CONSULTANTS, 2017)).....	82
--	----

GLOSSÁRIO

Fenda: Separações longitudinais ou transversais da rolha, que, entre outros motivos, podem ser provocadas pela passagem de insetos ou larvas na cortiça que originou a rolha.

Lenticela: Poros na superfície das rolhas.

Montado: Ecossistema constituído pela floresta de sobreiro e por toda a fauna e flora que nela habita.

Rolha Capsulada: Rolha de cortiça em cujo topo é colocada uma cápsula, de madeira, PVC, porcelana, metal, vidro ou outros materiais. A rolha capsulada é geralmente utilizada em vinhos licorosos/generosos ou em bebidas espirituosas.

Rolha Natural: Rolha obtida por brocagem das pranchas de cortiça, resultando num corpo constituído apenas por cortiça.

Rolha Técnica: Rolha obtida por aglutinação de granulados de cortiça com aglutinantes, através de um processo de moldagem ou extrusão, e com uma granulometria compreendida entre 0,5 e 8 mm. O granulado utilizado provém da trituração de subprodutos gerados no processo de produção das rolhas naturais.

1

INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Com o decorrer dos últimos anos foi notório o grande desenvolvimento da indústria vinícola. O que era considerada uma indústria tradicional tornou-se um setor bastante produtivo e técnico. Consequentemente, houve também um grande desenvolvimento em todos os produtos inerentes a esta indústria, nomeadamente as rolhas de cortiça que constituem o vedante mais utilizado. Com este crescimento na produção de rolhas, os impactes ambientais são cada vez mais motivo de precaução, sendo necessário realizar-se avaliações ambientais do cariz do presente estudo.

O sobreiro é a única espécie vegetal capaz de produzir uma casca volumosa de tecido suberoso, a cortiça, de forma sustentável e com a máxima qualidade, que garante uma indústria única no mundo. Esta árvore pertence à família dos carvalhos e tem folhagem verde todo o ano, podendo atingir um porte natural de 10 a 15 metros de altura no caso de um sobreiro adulto. De salientar ainda que a sua grande longevidade (200-250 anos) e enorme capacidade de regeneração da camada de cortiça são o que concedem ao sobreiro toda a sua relevância económica e ambiental, sendo a produção de cortiça a atividade associada a esta árvore que representa maior rentabilidade. É uma matéria-prima natural, reutilizável e reciclável extraída dos sobreiros sem nunca prejudicar o normal desenvolvimento da espécie e sem danificar a árvore, o que permite que após a sua extração se forme uma nova camada de cortiça adjacente à superfície do tronco exposta.[1 – 3]

Os montados de sobreiro formam habitats heterogéneos que variam entre áreas de mato, normalmente com várias idades e alturas, zonas de pastagem ou de agricultura, apresentando um coberto arbóreo com densidade variável de árvores (30 ou 40 árvores até mais de 100 por hectare). O sobreiro, a espécie-chave do montado, é a base de uma cadeia alimentar que inclui desde os insetos que se alimentam das suas folhas até às aves que predam estes insetos. Assim, as florestas de sobreiro asseguram uma grande biodiversidade natural em fauna selvagem, que conta com mais de 200 espécies, de onde se destaca umas das espécies mais ameaçadas do

mundo, o linco ibérico, e em flora, com uma diversidade de 135 espécies por quilómetro quadrado. Dada a sua relevância como ecossistemas que representam, a legislação nacional e regional em Portugal protege os montados e proíbe o abate não autorizado de árvores, aplicando pesadas multas por danos ou gestão não adequada das árvores e estabelecendo regras rigorosas de descortiçamento e manutenção das árvores.[4 – 6]

O montado de sobro assume uma importância crucial para a economia e a ecologia de vários países do Mediterrâneo, ocupando uma área mundial de cerca de 2,14 de hectares que é repartida entre os países Europeus (Portugal, Espanha, França e Itália) e do Norte de África (Marrocos, Argélia e Tunísia). Portugal é o país com maior percentagem de área de montado de sobro que produz 100.000 toneladas de cortiça anualmente, representando metade da produção mundial.[7]

Associado às atividades socioeconómicas são frequentes diversos fatores que contribuem para o desenvolvimento sustentável, e mais especificamente a proteção do ambiente. No que concerne à proteção ambiental, os montados de sobro contribuem positivamente para a mitigação das alterações climáticas, visto que absorvem dióxido de carbono da atmosfera e armazenam-no por longos períodos de tempo nos seus tecidos perenes, bem como no solo como matéria orgânica. Socialmente, o setor da cortiça, devido à sua diversidade de subsectores, revela um papel crucial empregando 8324 trabalhadores diretos num total de 677 empresas a operar em Portugal. Economicamente, Portugal é o maior exportador de cortiça, sendo que no ano de 2016, caracterizado por um ano bastante rentável, assumiu uma cota de 63% da massa de produção mundial correspondente a uma receita de 937,5 milhões €.[7 – 9]

Devido às suas propriedades elásticas, à sua impermeabilidade e ao seu eficaz isolamento térmico, a cortiça demonstra uma grande versatilidade e pode ser utilizada, por exemplo, na construção, aviação e desporto. No entanto, o setor vinícola é o mais relevante para a economia Portuguesa de produção de rolhas de cortiça pois é aquele que mais absorve a produção do setor corticeiro. A produção diária de rolhas no ano de 2016 foi cerca de 40 milhões. Este produto lidera as exportações de cortiça principalmente para países onde há produção de vinho, como sejam, entre outros, a França, Estados Unidos da América e Itália.[7]

A grande produção corticeira acarreta obviamente impactos ambientais ao longo do ciclo de vida associados às atividades de processamento, que devem numa fase preliminar ser avaliados antes de serem identificadas opções estratégicas para redução destes impactos. A metodologia

de avaliação do ciclo de vida é fundamental permitindo a identificação das etapas mais problemáticas do ponto de vista ambiental. Embora possam ser encontrados alguns estudos de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) sobre a cortiça e seus produtos na bibliografia, grande parte deles são referentes a materiais de construção de isolamento ou pavimento. Existem ainda algumas lacunas neste tipo de estudos de impactos no que diz respeito a todas as etapas envolvidas no processamento das rolhas de cortiça em Portugal, que representam o principal destino de toda a cortiça produzida pela exploração de sobreiro. Estas lacunas constatadas na bibliografia revista, relativa à avaliação do impacto ambiental das rolhas de cortiça, levou à necessidade de nesta tese se abordar a etapa de Gestão Florestal, assim como se desenvolver um estudo de impactos ambientais associados à produção da rolha técnica.[3]

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo tem como principal objetivo a avaliação comparativa do impacto ambiental associado ao ciclo de vida de uma rolha de cortiça natural e de uma rolha técnica. Sendo a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida a que permite uma abordagem completa ao ciclo de vida de produtos será esta a metodologia a ser usada e a abordagem será do tipo berço-túmulo (cradle-to-grave), ou seja, serão avaliados os impactos ambientais desde a produção florestal no montado de sobreiro até ao fim de vida das rolhas. A informação processual e de quantificação das entradas e saídas processuais (materiais e energia) usadas ao longo do ciclo de vida das rolhas é fornecida por uma empresa do setor rolheiro localizada a Norte de Portugal - a Cork Supply Portugal, SA. O inventário do ciclo de vida das duas rolhas de cortiça compreende as etapas de gestão florestal, preparação da cortiça, produção das rolhas, acabamento das mesmas, transportes entre etapas até à distribuição para os consumidores finais e opções nacionais para o fim de vida das rolhas.

Cada uma das etapas do inventário é alvo de um estudo minucioso de avaliação dos impactos ambientais e posterior seleção das categorias de impacto associadas, com recurso ao programa SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017), sendo usado o método de avaliação de impactos CML-IA baseline (versão 3.04) conduzida através das etapas de Classificação e Caracterização. As categorias de impacto avaliadas na presente dissertação são a Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (GWP 100a), Depleção da camada de ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade em água doce, Ecotoxicidade marinha, Ecotoxicidade terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização.[10]

Finalmente, são aferidas as contribuições de cada etapa do ciclo de vida para as várias categorias de impacto ambiental, o que possibilita a identificação geral das contribuições de cada uma das etapas do ciclo de vida referentes a cada uma das rolhas, bem como uma avaliação comparativa entre elas.

1.3 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE

Esta dissertação está dividida em sete capítulos:

➤ Capítulo 1 – Introdução

O presente capítulo faz o enquadramento da dissertação, define os objetivos deste trabalho, a estrutura e organização dos capítulos da dissertação.

➤ Capítulo 2 – O Setor Corticeiro e o Ambiente

No capítulo 2 é evidenciada a importância do setor corticeiro na economia nacional e internacional com dados correntes de produção de produtos de cortiça, focando principalmente as rolhas de cortiça natural e técnicas. Posteriormente são apresentadas algumas considerações relevantes referentes a este setor e um enfoque no subsector rolheiro e na sua relação com o ambiente e sustentabilidade. Consta ainda a revisão bibliográfica de estudos de avaliação de ciclo de vida da rolha de cortiça que foram tidos em conta na realização deste trabalho. Nesta revisão são identificados os estudos revistos e são revelados os resultados de modo a serem usados na discussão deste trabalho.

➤ Capítulo 3 – O Processo de Produção da rolha de cortiça natural e da rolha técnica

No capítulo 3 são apresentadas e caracterizadas as rolhas que vão ser alvo de estudo na presente dissertação. O foco do estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) são, de entre todas as rolhas que constam no catálogo da empresa Cork Supply Portugal, SA, a rolha natural e a rolha técnica mais comercializadas pela empresa. Assim, neste capítulo vêm também descriminadas todas as etapas inerentes ao ciclo de vida de cada uma das rolhas de cortiça onde se prevê uma abordagem do tipo cradle-to-grave (berço-túmulo), desde a gestão florestal dos montados de sobreiro até ao fim de vida das rolhas.

➤ Capítulo 4 – Metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) das rolhas de cortiça

O capítulo 4 descreve a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e faz referência às normas ISO 14040 e 14044 que descrevem os princípios e a estrutura associados a esta

metodologia. A ACV é então aplicada a ambas as rolhas de cortiça que tem como ponto de partida a definição do objetivo e âmbito, da unidade funcional e das fronteiras do sistema. Posto isto, segue-se a análise do inventário de entradas e saídas de energia, água e materiais, que inclui não só consumos de recursos naturais e energéticos, como também emissões de poluentes para a atmosfera, solo e água associados a cada etapa do ciclo de vida das rolhas. Assim, neste capítulo consta ainda a avaliação dos impactes ambientais associados aos dados recolhidos na análise do inventário onde são aferidas as contribuições de cada etapa do ciclo de vida para as várias categorias de impacte. Para este efeito recorreu-se ao programa SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017), sendo usado o método de avaliação de impactes CML-IA baseline (versão 3.04) conduzida através das etapas de Classificação e Caracterização.[10]

➤ Capítulo 5 – Resultados e Discussão

O capítulo 5 apresenta, analisa e discute os resultados obtidos para as diferentes categorias de impacte ambiental inerentes às várias etapas do ciclo de vida para cada rolha de cortiça. Inclui ainda a avaliação comparativa dos resultados obtidos onde se poderá concluir qual das rolhas, natural ou técnica, possui a maior contribuição para o impacte ambiental ao longo do ciclo de vida.

➤ Capítulo 6 – Conclusões e Capítulo 7 – Perspetivas para trabalhos futuros

Por fim, seguem-se os capítulos 6 e 7 onde são delineadas as conclusões retiradas ao longo do presente trabalho, bem como as suas limitações, e apresentadas algumas propostas para trabalhos futuros.

2 O SETOR CORTICEIRO E O AMBIENTE

2.1 A IMPORTÂNCIA DO SETOR CORTICEIRO

Nesta secção é abordada a importância do setor corticeiro a nível nacional e mundial, que além do incontornável valor ambiental, possui uma inegável relevância para a sociedade e para a economia nacional. A cortiça é um bem renovável que é extraído do sobreiro periodicamente, sem qualquer tipo de dano, o que confere à exploração de sobreiro uma elevada rentabilidade muito devido à sua longevidade. Desta forma, cada vez é mais notório o desenvolvimento associado a este setor de zonas rurais, que para além de se traduzir em receitas resultantes da exploração de sobrados e da produção de bens de cortiça, resulta também na criação de postos de trabalho. Ao longo desta secção é demonstrada a dominância de Portugal neste setor corticeiro não só no que toca a recursos florestais e produção de cortiça, como também em termos empresariais e nos domínios da tecnologia, investigação e inovação.

A exploração do montado de sobreiro ocupa uma vasta extensão, que é concentrada nos países mediterrânicos, com uma área de cerca de 2,14 milhões de hectares. A Figura 1 demonstra então a distribuição mundial do montado, em área e percentagem, entre os países Europeus (Portugal, Espanha, França e Itália) e do Norte de África (Marrocos, Argélia e Tunísia). Pode-se constatar também que Portugal detém a maior área de floresta de sobreiro, 737 mil hectares, o que corresponde a 34% da área mundial.[7]

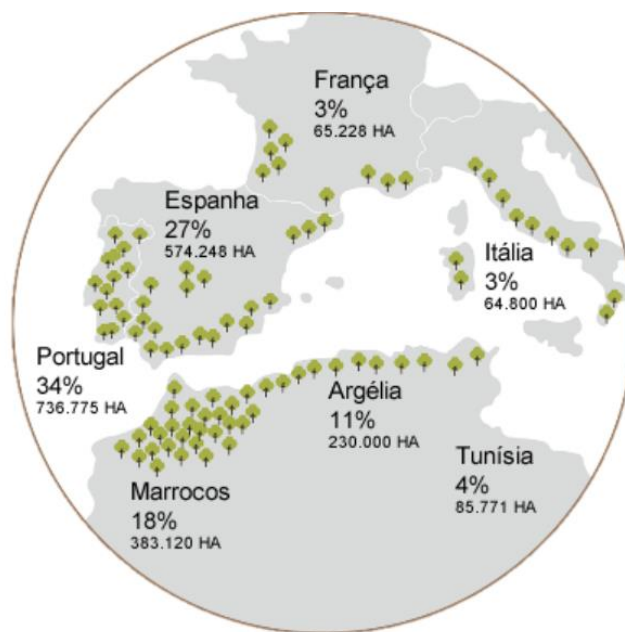


Figura 1. Mapa da localização do montado de sobreiro e sua distribuição geográfica[11]

O sobreiro é a segunda espécie florestal dominante no nosso país, logo após o eucalipto, cobrindo 23% da floresta nacional. As explorações de montado estão concentradas maioritariamente no Sul, sendo que o Alentejo é o local dominante com 84% do total nacional. A Figura 2 demonstra então a distribuição florestal desta espécie, em percentagem pelas regiões nacionais, e essa diferença acentuada entre o Alentejo e as outras regiões. 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, que atualmente detém o maior número de trabalhadores do sector corticeiro. Curiosamente, o facto de grande parte das indústrias corticeiras se localizarem no Norte de Portugal, no pequeno município de Santa Maria da Feira, Aveiro, traduz-se na necessidade de transportar a matéria prima entre o local de extração da cortiça e o de produção dos bens. Pensa-se que a localização deste aglomerado de empresas corticeiras poderá estar relacionada com a proximidade às caves de vinho do Porto, que utilizam as rolhas de cortiça como vedantes das suas garrafas, e bem como às linhas de comboio e rios navegáveis que permitiam uma fácil transação dos produtos de cortiça. De salientar ainda que esta concentração do setor possui um papel crucial para o desenvolvimento socioeconómico desta região do país, sendo uma grande fonte de empregabilidade e de exportações e o maior suporte deste setor-chave em Portugal.[7, 12]

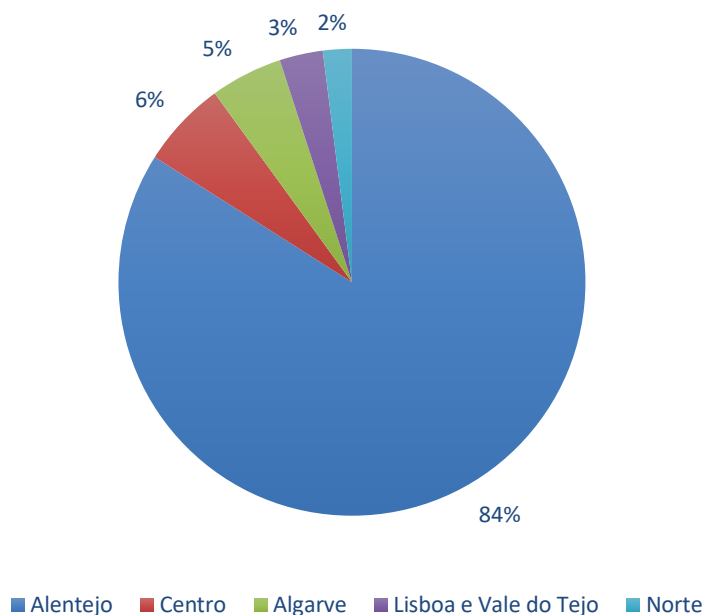


Figura 2. Percentagem de área de montado em Portugal, por região[7]

A produção mundial da cortiça ascendeu no ano de 2016, em média, a 201 mil toneladas. A Tabela 1 destaca Portugal como líder, mais uma vez, neste caso na produção da cortiça, o que era desde já expetável por ser o maior detentor da área de montado mundial. Assim, o nosso país é responsável por produzir quase metade da cortiça extraída atualmente no mundo, correspondendo a cerca de 100 mil toneladas anuais.[7]

Tabela 1. Produção em massa de cortiça por país, no ano de 2016 [7]

País	Produção Anual (t)	Percentagem (%)
Portugal	100.000	49,6
Espanha	61.504	30,5
Marrocos	11.686	5,8
Argélia	9.915	4,9
Tunísia	6.962	3,5
Itália	6.161	3,1
França	5.200	2,6
Total	201.428	100

Como consequência da grande produção de cortiça em Portugal, a indústria corticeira tem-se feito acompanhar e nos últimos anos registou um aumento na ordem dos 14% no que concerne ao número de empresas. Atualmente o setor conta com 8324 trabalhadores distribuídos por 677

empresas que estão divididas pelos subsectores Preparador, Transformador e Aglomerador. O subsector Preparador inclui as atividades de preparação de cortiça (especificamente cozedura, traçamento, enfardamento e estabilização da cortiça). Do subsector Transformador fazem parte as atividades associadas à manufatura da rolha de cortiça que compreendem o fabrico e acabamento de rolhas naturais e técnicas. No subsector Aglomerador realizam-se atividades de, por exemplo, aglomeração de produtos de cortiça com vista à produção de materiais para a construção civil, para o sector automóvel, aeronáutico.[7]

Portugal lidera as exportações mundiais de cortiça, exportando atualmente cerca de 936,4 milhões de euros, assumindo uma cota de 63,2% do total mundial. Este valor eleva-se para cerca de 80% quando nos referimos a transações de produtos já transformados. A nível nacional, o valor das exportações portuguesas de cortiça representa cerca de 0,7% do PIB (preços de mercado), 2% do valor das exportações de bens portugueses e mais 33% do conjunto das exportações portuguesas de produtos florestais. De facto, no universo nacional das empresas verifica-se que 40% se dedicam à exportação. Cerca de 90% da cortiça produzida destina-se à exportação e apenas 10% tem como destino o mercado interno. É importante salientar ainda que os cinco principais países destino das exportações de cortiça são a França, Estados Unidos da América, Espanha, Itália e Alemanha. Estes países importam um total de cerca de 68% da cortiça produzida a nível nacional. Com exceção da Alemanha, que importa fundamentalmente produtos de cortiça para construção ou decoração, estes países são bastante característicos pela produção vinícola, o que demonstra a relevância do subsector rolheiro neste mercado, tema que irá ser abordado na secção seguinte.[7]

No que concerne às importações, Portugal é o terceiro maior importador mundial de cortiça, registando um valor de cerca de 175 milhões de euros, que utiliza para transformação e posterior exportação sob a forma de produtos de consumo final. Esta opção de negócio é bastante rentável, na medida em que a taxa de exportação de produtos de cortiça, como sejam rolhas ou materiais de construção, é bastante superior quando comparada com a de exportação da matéria-prima, algo que irá ser igualmente abordado na secção seguinte. Assim, o principal produto importado pelo nosso país é a cortiça natural em bruto ou preparada, proveniente essencialmente de Espanha. No ano de 2016, as importações do setor da cortiça provenientes de Espanha abrangeram cerca de 130,3 milhões de euros, o correspondente a uma cota de 75% do valor total das importações portuguesas de cortiça.[7]

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO SETOR CORTICEIRO: ENFOQUE NO SUBSETOR ROLHEIRO

Tal como já foi anteriormente referenciado, é importante salientar a posição do subsector rolheiro no mercado global de produtos de cortiça onde as rolhas de cortiça assumem o papel dominante. Na verdade, é o subsector rolheiro o que merece maior destaque por ser o mais rentável economicamente e o que abrange maior número de empresas do setor. Ao longo desta secção são então evidenciados os valores de produção deste subsector e a percentagem de cortiça natural que tem as rolhas como destino, bem como os valores de exportações deste produto e a rentabilidade que o mesmo acarreta para a economia portuguesa.

Desta forma, o principal sector de destino dos produtos de cortiça é a indústria vinícola que representa a maior parte da massa de produtos de cortiça produzidos, correspondente a um fabrico de cerca de 40 milhões de rolhas por dia (35 milhões das quais no Norte do País), seguido do sector da construção civil, onde vem incluído os pavimentos, isolamentos e revestimentos. A Figura 3 demonstra a repartição das exportações portuguesas no que toca aos diferentes produtos de cortiça, e permite constatar que logicamente os produtos mais produzidos coincidem com os mais exportados.[7]

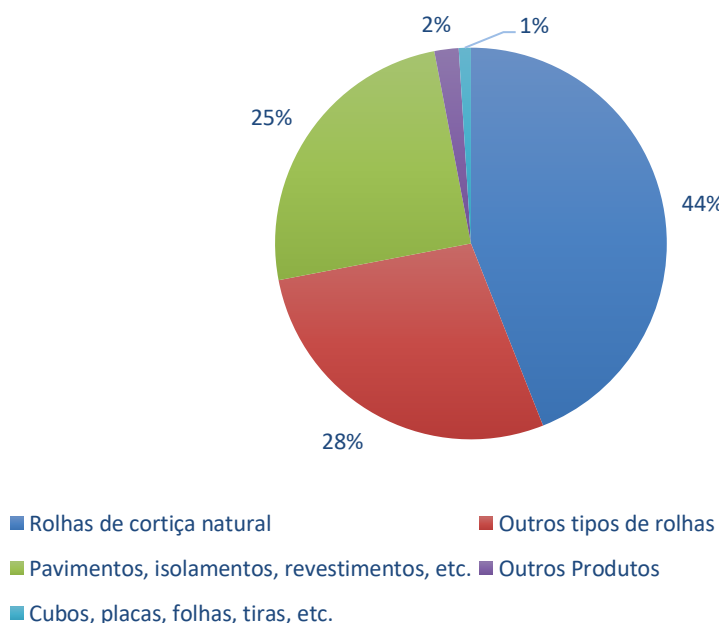


Figura 3. Estrutura das vendas (exportações) de cortiça por tipo de produtos em valor, no ano de 2016 [7]

Assim, no que diz respeito aos principais produtos exportados, as rolhas de cortiça continuam a liderar as transações portuguesas de cortiça, assumindo 72% do total de produtos de cortiça

produzidos, correspondendo a 675,3 milhões de euros. Em seguida, vem a cortiça usada como material de construção com 25% que corresponde a um volume de vendas de 237,2 milhões de euros. Outros bens de cortiça, como por exemplo, os produtos de decoração, e mesmo a cortiça como matéria-prima são também exportados embora representem valores bastante menores em termos de receitas.[7]

Dentro do segmento de rolhas de cortiça, as rolhas naturais (ver definição no Glossário) representam 60% das exportações totais de rolhas correspondendo a um volume de vendas de 411 milhões de euros. Segue-se a categoria de outros tipos de rolhas, onde são incluídas as rolhas técnicas e capsuladas (ver definição no Glossário), englobando 20% das exportações totais e um valor de 132,3 milhões de euros. Por fim, surgem as rolhas de champanhe, igualmente com uma cota de 20% das exportações totais representando 132 milhões de euros. Quanto aos principais destinos das rolhas produzidas pelo nosso país, é importante salientar França como o principal país consumidor de rolhas naturais e Itália como o principal país comprador de rolhas de champanhe. Assim, com base nestes dados, a Figura 4 possibilita uma análise mais detalhada do mercado destes vedantes de cortiça, permitindo, não só identificar os países mais consumidores dos diferentes tipos das rolhas produzidas em Portugal, como também destacar a liderança das rolhas naturais neste subsector rolheiro.[7]

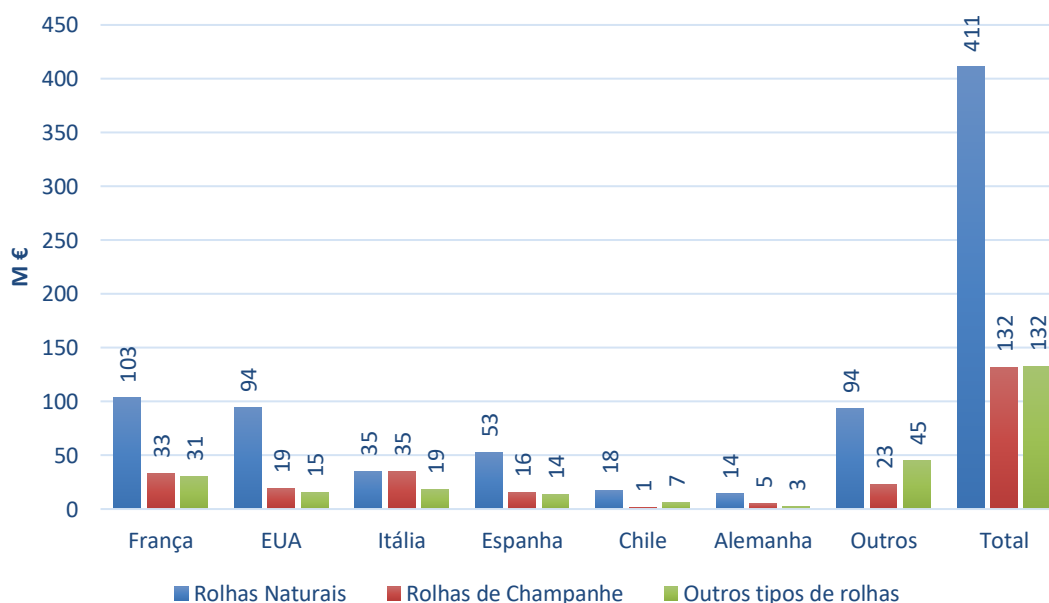


Figura 4. Principais países consumidores de rolhas de cortiça produzidas em Portugal[7]

Com o intuito de se relacionar os principais destinos de exportação das rolhas portuguesas com a produção de vinho, foram analisados quais os principais países produtores deste produto a nível mundial (Tabela 2). Como expectável, os países de produção de vinho, e que no total representam cerca de 59% da produção mundial, são também os maiores consumidores de rolhas de cortiça.

Tabela 2. Produção anual de vinho para os quatro principais países[7]

País	Produção Anual (milhões hl)	Cota de produção (%)
Itália	50,9	19
França	43,5	16
Espanha	39,3	15
EUA	23,9	9
Total	157,6	59
Total Mundial	267	100

2.3 O SUBSETOR ROLHEIRO E O AMBIENTE

Os montados (ver definição no Glossário), como sistemas ambientais multifuncionais e estáveis, estão adaptados a uma exploração económica em harmonia com a proteção ambiental. O valor ambiental dos sistemas de montados de sobre está relacionado com o seu comportamento como barreira contra a desertificação. Entre outros fatores estes povoamentos prestam serviços ecológicos importantes, incluindo por exemplo, a fixação do dióxido de carbono, a libertação de oxigénio, o aumento da taxa de infiltração das águas das chuvas no solo, a proteção 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.[13]

Apesar desta evidente componente de preservação ecológica associada aos montados de sobre e, consequentemente 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. Ao invés dos bens de cortiça, a economia mundial tem sido construída com base num modelo linear de negócios, que agora está sob ameaça devido à disponibilidade limitada de recursos naturais. Este modelo assenta numa economia tendencialmente linear onde as matérias-primas são extraídas, ocorre o seu processamento em produtos, que posteriormente são vendidos e, após a sua utilização, descartados como resíduos. Até determinado momento,

este foi um modelo bem-sucedido, uma vez que providenciou produtos em larga escala, a um custo cada vez mais baixo, com cadeias de abastecimento globais suportadas por novas tecnologias de produção, favorecendo as economias desenvolvidas. A verdade é que, a forma e a velocidade com que os recursos naturais são utilizados são insustentáveis, havendo um consumo de recursos maior do que o que planeta tem a capacidade de produzir.

Com este propósito, o desenvolvimento e implementação de uma estratégia que fomente a transição de uma economia linear para uma economia circular, baseada num modelo de desenvolvimento sustentável e nos princípios de uma economia verde, que garanta a eficiência na utilização de recursos, assente numa economia de baixo carbono e o combate à depleção dos recursos naturais, representa ainda benefícios económicos globais associados. Assim, os materiais são devolvidos ao ciclo produtivo através da reutilização, recuperação e reciclagem com base nas políticas dos resíduos, hierarquização da gestão de resíduos, prevenção da produção de resíduos, pensamento de ciclo de vida e o eco design.

A projeção de um modelo circular representa, desta forma, uma enorme oportunidade com vários benefícios associados, nomeadamente de impacte ambiental, através da diminuição do recurso às matérias-primas, impacto social, pela possibilidade de melhorar e prolongar as relações com os diferentes parceiros, e impacto económico, na medida em que representa um estímulo à criatividade na redução de custos e fomenta a criação de emprego. O setor corticeiro é um exemplo que assenta neste modelo de economia circular, sendo a ligação entre subsectores uma das suas características mais relevantes. A produção de rolhas de cortiça natural é o subsector nobre desta indústria absorvendo a cortiça de melhor qualidade. 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, e produz materiais de vários tipos, como sejam rolhas técnicas, materiais de construção, etc. 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, tal como é demonstrado na Figura 5. O pó de cortiça é também correntemente utilizado como combustível para caldeiras das empresas do sector.

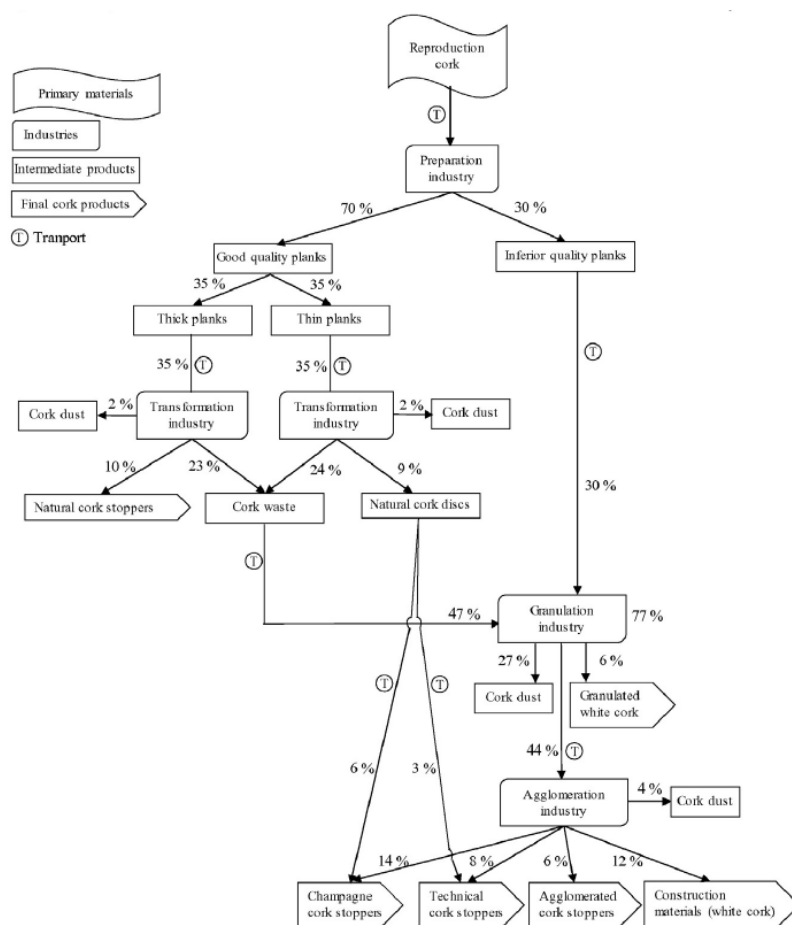


Figura 5. Distribuição da cortiça pelos diferentes subsectores[14]

2.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DA ROLHA DE CORTIÇA

Sendo as rolhas de cortiça os principais produtos da exploração corticeira, torna-se relevante realizar estudos de avaliação ambiental associado a estes vedantes de forma a compreender quais os impactes ambientais associados e a relação destes com as fases do ciclo de vida da rolha. Esta avaliação permite identificar a carga ambiental destes produtos e procurar estratégias para redução dos impactes ambientais resultantes das atividades associadas aos seus ciclos de vida. Como tal, para a realização do presente estudo foi necessário recolher informação na bibliografia relativa a estudos de ACV focando a cortiça e seus produtos. Foram analisados estudos de Gestão Florestal dos montados de sobro e de rolhas de cortiça natural e de champanhe. No entanto, identificou-se como evidente a escassez de estudos relativos a rolhas de cortiça para além das rolhas de cortiça natural, principalmente no que concerne a estudos focando as rolhas técnicas. A Tabela 3 demonstra a revisão bibliográfica que foi tomada em

consideração ao longo deste trabalho e realça então essa escassez de estudos ambientais de rolhas técnicas e de estudos que incluam, entre outros fatores, a etapa de gestão florestal. Por este motivo, para além dos estudos de rolhas que foram tidos em consideração, foi ainda analisado um estudo onde são abordados os processos de gestão florestal.

Tabela 3. Seleção de estudos de ACV aplicados focando produtos de cortiça (rolhas naturais e rolha de champanhe) e a Gestão Florestal do Sobreiro

Autor	Demertzi et al. (2016)[3]	Rives et al. (2011)[15]	PwC/Ecobilan (2008)[16]	Ecobilancio (2010)[17]	Rives et al. (2012)[18]	González-García et al. (2013)[19]
País	Portugal	Espanha	Portugal	Itália	Espanha	Portugal
Objeto e objetivo do estudo	Identificar, do ponto de vista ambiental, as etapas mais influentes na produção das rolhas de cortiça naturais, e os seus processos dominantes (hotspots), e sugerir ações de melhoria	Quantificar e avaliar o impacto ambiental da produção de rolhas de cortiça natural considerando todos os processos envolvidos	Quantificar os impactes ambientais associados às rolhas de cortiça naturais e comparar com vedantes alternativos de alumínio e plástico	Avaliar ambientalmente o ciclo de vida das rolhas de cortiça natural utilizando dados italianos	Quantificar e avaliar os impactes ambientais associados à produção de rolhas de cortiça de champanhe	Avaliar os impactes ambientais da produção e extração da cortiça nas florestas portuguesas de sobreiro
Unidade Funcional	1.000 rolhas de cortiça natural	1.000.000 rolhas de cortiça natural	1.000 rolhas de cortiça natural	1 rolha de cortiça natural	1.000.000 rolhas de cortiça de champanhe standard	1 tonelada de cortiça seca
Etapas ACV incluídas	- Gestão Florestal - Preparação - Produção - Acabamento - Distribuição	- Preparação - Produção - Acabamento - Distribuição - Fim de vida	- Preparação - Produção - Acabamento - Distribuição - Fim de vida	- Preparação - Produção - Acabamento - Distribuição - Fim de vida	- Preparação - Produção discos de cortiça natural - Produção granulado - Produção rolhas - Acabamento - Distribuição - Fim de vida	- Gestão Florestal
Etapas ACV excluídas	Fim de vida	Gestão Florestal	Gestão Florestal	Gestão Florestal	Gestão Florestal	- Preparação - Produção - Acabamento - Distribuição - Fim de vida
Abordagem ACV	Cradle-to-bottling (Berço-engarrafamento)	Gate-to-grave (Portão-túmulo)	Gate-to-grave (Portão-túmulo)	Gate-to-grave (Portão-túmulo)	Gate-to-grave (Portão-túmulo)	Cradle-to-gate (Berço-portão)
Método usado para a quantificação das Categorias de Impacte	ILCD (ILCD, 2010):[19] - Alterações climáticas - Depleção de ozono - Toxicidade humana cancerígena - Toxicidade humana não-cancerígena	CML - 2001 (Guinée et al., 2001):[9] - Aquecimento global - Depleção da camada de ozono - Toxicidade humana - Formação de ozono fotoquímico	WMO (WMO, 1991); CML - 1992 (Heijungs et al., 1992); ETH (ETH, 1995); IPCC (IPCC, 1996): - Aquecimento global - Formação de ozono fotoquímico	CML - 1992 (Heijungs et al., 1992); IPCC (IPCC, 1996): - Aquecimento global - Depleção da camada de ozono - Acidificação - Eutrofização	CML - 2001 (Guinée et al., 2001): - Depleção abiótica - Aquecimento global - Acidificação - Eutrofização - Depleção da camada de ozono	CML - 2001 (Guinée et al., 2001): - Depleção abiótica - Acidificação - Eutrofização - Aquecimento global - Depleção da camada de ozono

	- Formação de ozono fotoquímico - Acidificação - Eutrofização terrestre - Eutrofização em água doce - Eutrofização marinha - Ecotoxicidade em água doce - Depleção de recursos minerais e fósseis	- Acidificação - Eutrofização - Ecotoxicidade terrestre - Ecotoxicidade em água doce - Ecotoxicidade marinha - Depleção abiótica	- Acidificação - Eutrofização - Metais pesados	- Depleção abiótica - Formação de ozono fotoquímico - Metais pesados	- Formação de ozono fotoquímico - Toxicidade humana - Ecotoxicidade terrestre - Ecotoxicidade em água doce - Ecotoxicidade marinha - Radiação radioativa	- Formação de ozono fotoquímico - Toxicidade humana - Ecotoxicidade terrestre - Ecotoxicidade em água doce - Ecotoxicidade marinha
Resultados obtidos /Conclusões	A <u>etapa de Gestão Florestal</u> foi a que apresentou maior impacto, que vem associado ao elevado consumo de diesel em motosserras e arados. Seguem-se as etapas de Preparação, onde os impactos estão associados ao consumo elétrico e produção de lamas, e a de Produção das rolhas, que envolve a utilização de químicos e um elevado consumo energético e de gás natural.	A <u>etapa de Produção</u> foi a que apresentou maior impacto no ciclo de vida da rolha de cortiça. Neste estudo foi também evidenciado o transporte floresta-preparação que, devido à elevada distância percorrida, representa impactos consideráveis. Apenas as etapas de Acabamento final e Preparação da cortiça foram ainda relevantes, sendo tudo o resto valores desprezáveis neste estudo ambiental.	Concluiu-se que a rolha de cortiça natural possui um desempenho ambiental melhor quando comparado com os outros vedantes. A <u>etapa de Produção</u> é a que acarreta maiores impactos ambientais, sendo que as etapas de Preparação da cortiça e de Acabamento Final das rolhas representam ainda alguma significância para este estudo.	A informação utilizada é relativa à realidade Italiana, que possui uma área de exploração de sobre bastante reduzida. Assim, este é um cenário não representativo da produção mundial de rolhas. A <u>etapa de Produção</u> da rolhas é a que acarreta maiores impactos ambientais, seguida das etapas de Preparação da cortiça e de Acabamento Final das rolhas.	As <u>etapas</u> que apresentaram maiores impactos ambientais foram a da <u>Produção do corpo</u> das rolhas e, de seguida, a de <u>Produção de granulado</u> , cujo problema vem associado ao elevado consumo energético. Apenas as etapas de Produção dos discos de cortiça natural e Acabamento final foram ainda relevantes, sendo tudo o resto valores desprezáveis neste estudo ambiental.	Neste estudo apenas se estudou a etapa de Gestão Florestal. Os impactos ambientais mais relevantes resultam principalmente da frequência com que se executam as atividades de poda e de corta-mato, por exemplo. Estas atividades acarretam elevados consumos de Diesel que são prejudiciais ao meio ambiente.
Processos críticos	- Corta-mato - Poda - Cozedura - Transporte preparação-produção - Brocagem - Lavação - Desodorização - Tratamento superficial - Transporte para EUA	- Transporte floresta-preparação - Cozedura - Brocagem - Retificação	Não especificado	Não especificado	- 2ª cozedura dos discos - Retificação dos discos - Brocagem dos discos - Moagem - Crivagem - Aglomeração - Colagem dos discos - Retificação da rolha - Marcação - Seleção Visual	- Corta-mato - Ripagem - Armação do terreno em vala e cômodo - Gradagem - Poda

Com base na Tabela 3, pode-se constatar que os estudos revistos evidenciam limitações e lacunas a vários níveis. Como foi referido anteriormente, é notória não só a escassez de estudos relativos a ACV das rolhas técnicas, como também a exclusão da etapa de Gestão Florestal na maior parte dos trabalhos, o que motivou a inclusão do estudo de González-García et al. (2013) que permite a avaliação ambiental desta etapa. Constatou-se também que a metodologia usada para a quantificação das Categorias de Impacte da maior parte dos estudos está desatualizada.[19]

A partir dos dados fornecidos por todos os trabalhos verificou-se que, embora muitos dos estudos não a incluam, a etapa de Gestão Florestal é a que acarreta maior impacte ambiental devido à necessidade frequente de repetição de certas operações, como as podas e corta-mato, essenciais à gestão do sobreiro, que estão associadas a elevados consumos de Diesel em motosserras e arados. No que concerne à cadeia produtiva das rolhas de cortiça natural, foi concordante, em todos os trabalhos, que a Produção das rolhas foi a etapa que significou maior impacte ambiental, devido aos elevados consumos de energia elétrica e gás natural e à utilização de reagentes químicos agressivos. As etapas de Preparação da cortiça e Acabamento final das rolhas apresentaram valores ainda significativos em certas categorias de impacte, devido principalmente a consumos energéticos da maquinaria. No que diz respeito às rolhas técnicas, o único estudo analisado demonstrou que as etapas com maior carga ambiental são as de Produção do corpo das rolhas, devido aos reagentes utilizados no processo de aglomeração (como por exemplo a cola e o óleo parafínico), e Produção do granulado, devido ao consumo energético associado.

Estas limitações justificam a elaboração de um trabalho ACV sobre as rolhas de cortiça, que inclua uma análise mais completa das fases do ciclo de vida da rolha de cortiça natural com aproveitamento dos subprodutos produzidos para o fabrico de rolhas de cortiça técnicas. Assim, este estudo apresenta uma avaliação ambiental incluindo todos os processos: gestão florestal, preparação da cortiça, produção das rolhas naturais que vem dar origem à cadeia de produção das rolhas técnicas, seguidas do acabamento final de ambas as rolhas, e por fim a utilização e fim de vida das mesmas. Adicionalmente, o presente trabalho disponibiliza ainda informações relevantes sobre a realidade do mercado do setor corticeiro e do subsector rolheiro, bem como apresenta uma análise comparativa de impactes ambientais associados às rolhas naturais e técnicas.

3

O PROCESSO DE PRODUÇÃO DA ROLHA DE CORTIÇA NATURAL E DA ROLHA TÉCNICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ROLHAS

As rolhas de cortiça asseguram a vedação do vinho no recipiente de vidro. Esta vedação, se prolongada no tempo, promove a maturação do vinho, ou seja, o seu envelhecimento nobre através de inúmeros processos físico-químicos que ocorrem, quer entre os seus componentes, quer entre estes e as substâncias que compõem o ambiente interno da garrafa. Esta evolução gradual do vinho em garrafa dá-se num ambiente com baixíssimo teor de oxigénio, mas necessário e suficiente para fazer evoluir o vinho corretamente. Desta forma, é importante que as rolhas vedem eficazmente a garrafa de vidro, mas que sejam permeáveis ao oxigénio necessário ao envelhecimento do vinho. Do ponto de vista ambiental saliente-se que a sua produção está associada à exploração do montado de sobro que oferece ao nosso planeta vantagens ecológicas importantes, pois este é responsável pelo sequestro de dióxido de carbono e simultaneamente protege diversas espécies selvagens e habitats frágeis.[22, 23]

A produção da rolha de cortiça passa por um conjunto de etapas que se diferenciam quanto ao tipo de rolha que se pretende produzir. As rolhas de cortiça natural são fabricadas por brocagem a partir de uma peça única de cortiça, ao passo que as rolhas técnicas são produzidas a partir de aglomerado de grânulos de cortiça.[22, 24]

A hermeticidade assegurada pela rolha de cortiça é não só indispensável para os vinhos de estágio, como também para os vinhos de consumo rápido. No entanto, apenas a rolha natural, pelas suas características de elasticidade, compressibilidade e constituição celular, consegue proporcionar o equilíbrio perfeito entre uma vedação eficaz das garrafas, que proteja o vinho da oxidação e o conserve sem que exista interferência na harmonia dos seus componentes, e, ao mesmo tempo, uma transferência de oxigénio adequada ao seu envelhecimento durante o estágio. Assim, estas propriedades determinam que a cortiça natural seja o material de eleição para rolhas de vinhos de qualidade e principalmente para os vinhos de estágio, onde a conservação a longo prazo é exigida.

Por outro lado, as rolhas técnicas foram concebidas para engarrafar vinhos destinados a ser consumidos, em geral, num prazo de 2 a 3 anos. Além da vantagem económica que apresentam para vinhos de menor preço e de alta rotação, estas rolhas têm, ainda, a vantagem de serem completamente homogéneas dentro do lote. Estes vedantes são constituídos por um corpo de cortiça aglomerada muito denso, que é fabricado a partir de granulados de cortiça proveniente de subprodutos resultantes da produção de rolhas naturais, ao qual podem, ou não, ser adicionados discos de cortiça natural colados, utilizando aglutinantes aprovados para contacto com produtos alimentares, no seu topo ou em ambos os topos. De facto, as rolhas com um disco em cada topo são designadas rolhas técnicas 1+1. As rolhas com dois discos apenas num topo são designadas por rolhas técnicas 2+0, sendo estas últimas indicadas para champanhe. Este tipo de rolha é reconhecida pela sua estabilidade química e pela sua resistência mecânica, comportando-se de maneira exemplar em relação à torção a que são submetidas nas fases de engarrafamento e desenvolvimento.[24 – 26]

Com o intuito de se realizar uma análise comparativa dos impactes ambientais associados aos ciclos de vida de uma rolha natural e uma técnica selecionaram-se as rolhas mais comercializadas de cada tipo, de entre todas as que constam no catálogo da empresa Cork Supply Portugal, SA, representadas nas Figuras 6 e 7.



Figura 6. Rolha de cortiça natural



Figura 7. Rolha de cortiça técnica

3.2 CICLO DE VIDA DA ROLHA DE CORTIÇA

Nesta secção todas as etapas associadas ao ciclo de vida das rolhas de cortiça que vão desde a gestão florestal até ao fim de vida das rolhas, são aqui descritas. Na verdade, ao longo de ambos os ciclos apenas se verifica disparidade na etapa de produção, sendo que todas as outras são semelhantes para as duas rolhas. Com a exceção da produção, as outras etapas são descritas

sendo identificadas todas as discordâncias entre os dois produtos. De referir também que todos os processos apresentados se referem apenas às rolhas de cortiça selecionadas e à cadeia de produção da Cork Supply Portugal, SA. Sendo assim, no caso da rolha técnica não vão ser abordadas as etapas de produção e colagem de discos de cortiça natural, por exemplo, pelo facto do objeto de estudo ser uma rolha sem discos. Na Figura 8 são apresentados todos os processos associados aos ciclos de vida da rolha natural e técnica estudadas, desde a gestão florestal até às opções de fim de vida (incluindo as etapas de Preparação da cortiça, Produção de ambas as rolhas e Acabamento das Rolhas). A descrição das etapas de utilização da rolha pelo consumidor e de uma potencial reciclagem no fim de vida não são consideradas no presente estudo.

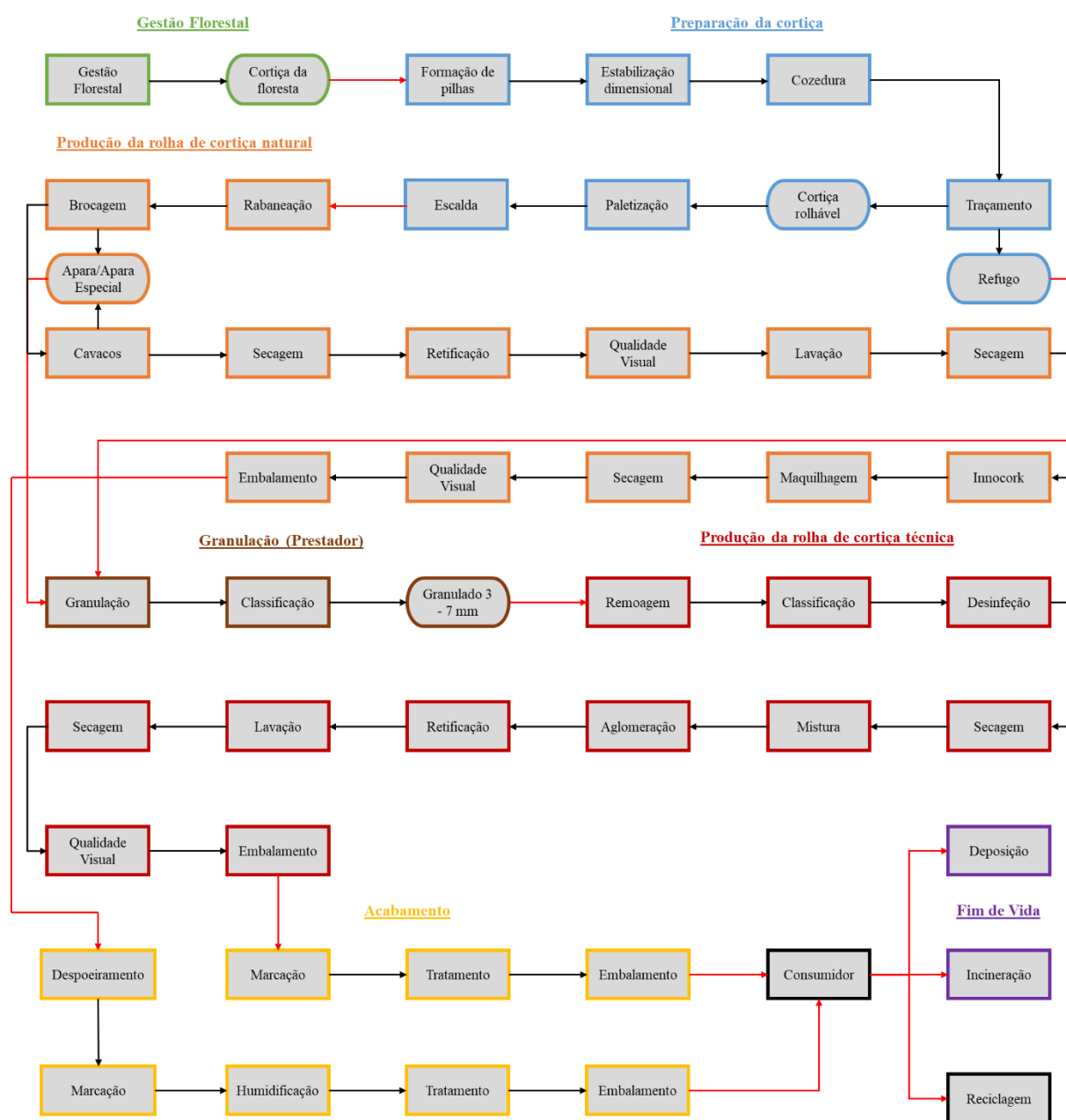


Figura 8. Representação esquemática do ciclo de vida completo das rolhas de cortiça natural e técnica

3.2.1 GESTÃO FLORESTAL

A etapa de gestão florestal compreende todas as operações, desde a estabilização dos terrenos de cultura do sobreiro até à recuperação do terreno. Nesta etapa as informações utilizadas foram retiradas do artigo González-García et al. (2013) onde são descritos todos os processos envolvidos na produção e extração da cortiça proveniente dos montados de sobre portugueses de duas regiões diferentes, Alentejo e Vale do Tejo. Tal como já foi referenciado anteriormente, o Alentejo é o maior produtor de cortiça em Portugal e como tal optou-se pela cadeia processual

levada a cabo nesta região, muito embora as diferenças sejam mínimas. A Figura 9 demonstra uma visão geral da gestão florestal e todo o sistema produtivo, que se encontra dividido em quatro sub-etapas: estabilização do terreno de cultura, manutenção da cultura, extração da cortiça e, por fim, a recuperação do terreno.[19]

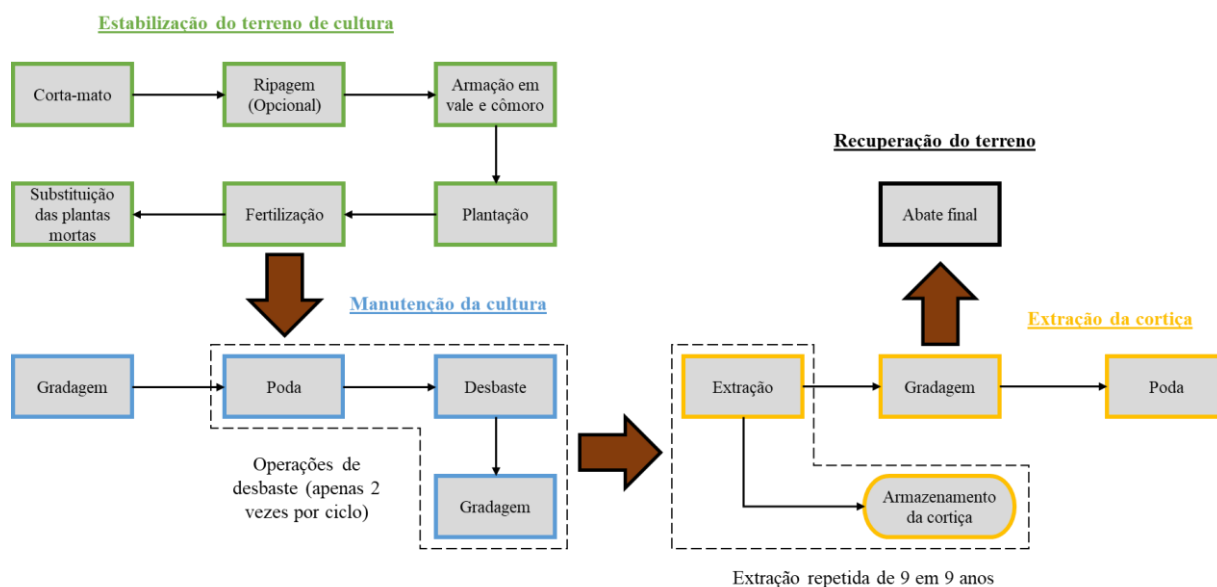


Figura 9. Cadeia processual da gestão florestal dos montados de sobreiro[19]

A etapa de estabilização do terreno que irá dar origem ao montado de sobreiro envolve a parte de preparação do terreno e a de plantação dos sobreiros. A primeira tem como principal objetivo melhorar o equilíbrio hídrico do solo sem afetar a sua estabilidade física e inicia-se com um processo de limpeza denominado **corta-mato**, que consiste na eliminação da vegetação espontânea que abunda no terreno utilizando uma grade de discos atrelada a um trator, normalmente realizada na Primavera ou Outono. A segunda atividade consiste na **ripagem**, com recurso a um estripador, igualmente atrelado a um trator, que visa aumentar a qualidade do solo, isto é, através de um processo de mobilização do solo pretende-se aumentar a sua porosidade, aumentando consequentemente o seu arejamento e disponibilidade de água e nutrientes. A ripagem é opcional e no caso em estudo (nos montados do Alentejo), é uma atividade que não é executada, o que, tal como irá ser avaliado posteriormente na presente dissertação, se irá traduzir numa redução dos impactes ambientais associados a esta etapa. Segue-se o processo de **armação do terreno em vala e cômore**, realizado por um arado duplo, que viabiliza então a **plantação** manual dos sobreiros e posterior **fertilização**, realizadas entre Outubro e Fevereiro. De salientar ainda que um ano após a plantação é importante **substituir**

as **plantas mortas**, cuja mortalidade está frequentemente ligada a condições meteorológicas e geomorfológicas.[19]



Figura 10. Etapa de estabilização do terreno[27]

A etapa de manutenção da cultura é fulcral para a monitorização das plantações dos sobreiros ao longo do ciclo de vida dos montados. Esta etapa inicia-se também com um processo de limpeza, a **gradagem**, que se baseia na mesma ideologia do corta-mato. Normalmente, este processo é levado a cabo no segundo ou terceiro ano após a plantação, no final da Primavera, e visa eliminar a vegetação espontânea que é prejudicial às árvores de sobreiro, podendo mesmo conduzir até à morte dos mesmos. A vegetação removida pode ser espalhada pelo terreno de modo a proteger o solo e aumentar a sua fertilidade. Do quinto ao sétimo ano após a plantação das árvores é importante proceder-se à **poda** dos seus ramos que para além de promover o crescimento dos sobreiros, corrige ainda malformações e aumenta a produção de biomassa. Esta primeira poda é realizada manualmente a tesoura, no entanto todas as outras que se seguem são já executadas com recurso a motosserras. Posto isto, seguem-se as operações de **desbaste** que consistem, tal como o próprio nome indica, no desbaste de 50% das árvores, utilizando uma motosserra, para se evitar a competição entre elas. Esta cadeia de processos é repetida por duas vezes, entre o décimo e décimo terceiro anos e entre o décimo quinto e vigésimo após a plantação dos sobreiros, resultando numa densidade de 100 árvores por hectare. As operações de desbaste, envolvem sempre os processos de limpeza (gradagem) e o de poda, que acaba por ser repetido de 8 em 8 anos.[19]



Figura 11. Etapa de manutenção da cultura[28]

A etapa de extração da cortiça envolve o **descortiçamento**, atividade que se repete de 9 em 9 anos durante a fase mais ativa do crescimento desta matéria-prima, e posterior **armazenamento da cortiça**, bem como processos de limpeza (**gradagem**) e **poda** que são executados entre as extrações. Mais uma vez a biomassa resultante é dispersa pelo solo com o intuito de se aumentar a fertilidade do mesmo. Assim, o primeiro descortiçamento tem lugar entre os vinte e trinta anos após a plantação das árvores e resulta numa cortiça de estrutura muito irregular e com uma dureza que se torna difícil de trabalhar. É denominada cortiça virgem que será utilizada em outras aplicações que não as rolhas, como seja em pavimentos, isolamentos, etc., já que está longe de apresentar a qualidade necessária para esse fim. Nove anos depois, no segundo descortiçamento, obtém-se um material com uma estrutura regular, menos duro, mas ainda impróprio para o fabrico de rolhas e que se designa por cortiça secundária. Este tipo de cortiça tem também como propósito a indústria dos aglomerados, visto que também não reúne as condições necessárias para a indústria rolheira. Apenas a partir do terceiro descortiçamento se obtém a cortiça de reprodução com as propriedades adequadas para a produção de rolhas de qualidade, uma vez que já apresenta uma estrutura regular com costas e barriga lisas. A partir desta altura, o sobreiro fornecerá, a cada nove anos, cortiça com boa qualidade durante cerca de século e meio, produzindo, em média, 15 descortiçamentos durante toda a sua vida. O descortiçamento do sobreiro é um processo manual, com recurso a machados, que deve ser feito por especialistas de modo a não danificar a árvore.[19, 29]



Figura 12. Etapa de extração de cortiça[28]

Finalmente, a etapa de recuperação do terreno consiste no **abate final dos sobreiros** em fim de vida, com aproximadamente 170 anos, utilizando motosserras.[19]



Figura 13. Etapa de recuperação do terreno

3.2.2 PREPARAÇÃO DA CORTIÇA

A etapa de preparação da cortiça tem como principal objetivo conceder a esta matéria-prima as qualidades necessárias para tornar possível a produção de rolhas a partir da mesma, o que é bastante relevante dada a exigência do setor rolheiro. Deste modo, esta etapa está dividida nas seguintes atividades processuais: formação de pilhas de pranchas de cortiça, primeira estabilização, cozedura, segunda estabilização, escalda, traçamento e, por fim, paletização.

A cortiça proveniente da floresta, logo após o seu descortiçamento, é transportada para a fábrica de preparação desta matéria-prima onde se procede imediatamente à **formação de pilhas de pranchas de cortiça**. Na verdade, quando é extraída do sobreiro possui sempre um grau de humidade elevado (na ordem dos 20%), que se deve ao facto de ainda conter água armazenada nos seus tecidos. Assim, é importante a secagem destas seivas e a simultânea primeira **estabilização dimensional**, libertando tensões mecânicas devidas à forma arredondada da

prancha que cobre o tronco; esta operação é realizada com as pilhas expostas a céu-aberto durante um mínimo de seis meses. Segue-se a **cozedura**, operação na qual as pranchas são submergidas em água fervente limpa durante uma hora com os seguintes propósitos:

- Limpar a cortiça;
- Extrair-lhe substâncias hidrossolúveis;
- Aumentar a sua espessura (por expansão das células) e assim reduzir a sua densidade;
- Torná-la mais macia e elástica.[31]



Figura 14. Processo de cozedura das pranchas de cortiça[31]

Após a cozedura realiza-se o **traçamento** que basicamente funciona como uma escolha manual das pranchas de cortiça, que são separadas por classes de qualidade com base na espessura, porosidade e aspeto, com rejeição das que não apresentam qualidade para produção de rolhas ditas “naturais”. Na verdade, estas pranchas rejeitadas denominam-se de refugo e são aproveitadas na indústria de aglomerados. No presente caso, e tal como se pode observar na Figura 8, o refugo é enviado para um prestador, que realiza a moagem, e posteriormente é integrado novamente na cadeia processual da Cork Supply Portugal, SA. para produção de rolhas técnicas.

As pranchas de qualidade são **paletizadas** para seguidamente serem integradas no processo produtivo das rolhas de cortiça natural. Num período de até uma semana realiza-se o processo de **escalda**, que é o equivalente a uma segunda cozedura mas com um período de tempo mais curto de trinta minutos e com o objetivo de ajustar a humidade requerida para a operação de corte que se segue.

3.2.3 PRODUÇÃO DAS ROLHAS

Nesta secção é importante diferenciar-se a cadeia processual referente à rolha natural e à técnica, já que são completamente distintas. De facto, é esta etapa que dá vida às rolhas que são originadas a partir das pranchas de cortiça rolhável, no caso da natural, e da cortiça não-rolhável que vai restando do processo produtivo da natural (refugo e aparas), no caso da rolha técnica.

3.2.3.1 Produção da rolha de cortiça natural

As pranchas de cortiça já preparadas são recebidas na fábrica de produção da rolha natural e antes de se dar início ao processo produtivo, há uma nova revisão das pilhas e rejeição das pranchas que não reúnem as qualidades necessárias para a indústria rolheira. Os principais motivos destas rejeições passam pela espessura das pranchas, bem como pela presença de verdura ou mancha amarela na cortiça.

A cortiça muito fina denomina-se de delgados que não possuem a espessura necessária à produção de rolhas de maiores dimensões, resultando em vedantes defeituosos. Como tal, pode ser aproveitada para a produção de rolhas de menores dimensões, normalmente concebidas para garrafas de vinho do porto ou bebidas espirituosas, como sejam whisky ou gin. A Figura 15 demonstra precisamente essa diferença de espessuras das pranchas de cortiça, onde se pode observar que os delgados presentes na direita não possuem qualidade para o fabrico de rolhas.

A verdura consiste num defeito celular caracterizado pela presença de uma maior humidade em certas frações da cortiça. Com o decorrer da produção das rolhas naturais poderão haver perdas dessa humidade com alterações na estrutura das mesmas, que vão resultar em rolhas defeituosas com depressões nesses locais. Neste caso, as pranchas com verdura rejeitadas devem ser reencaminhadas novamente para a etapa anterior de preparação da cortiça para um novo amadurecimento.

A mancha amarela, normalmente presente junto à casca ou a furos de bicho, é um indicativo da presença de TCA (2,4,6 tricloanisol) na cortiça, que representa o maior inimigo da indústria rolheira. Este componente químico pode alterar o cheiro e o paladar do vinho, sendo a substância mais indesejável nas rolhas de cortiça. Assim sendo, para que não haja contaminação das pranchas de boa qualidade, é importante uma rejeição imediata das que contenham mancha amarela, que podem ser enviadas para a indústria de aglomerados para fabrico de produtos de construção civil, por exemplo.



Figura 15. Pranchas de cortiça com diferentes espessuras[32]

A etapa de produção das rolhas de cortiça naturais envolve as seguintes operações: Rabaneação, Brocagem, Cavacos, Secagem, Retificação, Qualidade Visual, Lavação, Secagem, Innocork®, Maquilhagem, novas Secagem e processo de Qualidade Visual, e finalmente o embalamento.

O processo produtivo da rolha de cortiça natural inicia-se então com a **Rabaneação** que consiste no corte das pranchas em tiras transversais com uma largura ligeiramente superior ao comprimento da rolha a fabricar, usando uma serra de disco perpendicularmente à direção axial da cortiça. Veja-se que a prancha deve estar o mais alinhada possível, caso contrário as rolhas resultantes da tira em questão podem conter imperfeições no topo. A Figura 16 demonstra qual a técnica correta de rabaneação das pranchas de cortiça.



Figura 16. Processo de rabaneação das pranchas de cortiça[31]

O processo seguinte é a **Brocagem** onde as tiras são perfuradas por um tubo cilíndrico cortante de metal, oco e em rotação, e dão origem aos corpos das rolhas em conformidade com os limites dimensionais desejados. Este processo é realizado perpendicularmente à direção do crescimento da cortiça recorrendo-se a brocas automáticas ou semiautomáticas, estas últimas dependentes de um operário especializado. De facto, a automatização do processo acarreta aspetos bastante

positivos, como a aceleração do processo. No entanto, a inclusão de um operário no processo semiautomático permite a rentabilização de todas as porções de matéria prima que estejam próximas de zonas de qualidade ou espessura insuficientes para a produção de rolhas de calibre regular. Deste modo, as pranchas de cortiça de melhor qualidade, com maior consistência, são enviadas para as brocas automáticas, enquanto que as mais irregulares, de espessura mais reduzida e com mais imperfeições (canais de parasitas, manchas, porções lenhosas, etc.), são enviadas para as brocas semiautomáticas onde o operário irá decidir onde brocar evitando os defeitos, acabando por existir um maior rendimento qualitativo da cortiça. Nesta operação são ainda geradas as aparas, que consistem nos recortes da cortiça brocada. Este subproduto pode ser aproveitado pela indústria de aglomerados para a produção de rolhas técnicas, tal como no caso presentemente estudado, ou de produtos de isolamento e construção de menor valor acrescentado.[31]



Figura 17. Processo de Brocagem[31]

A brocagem é um processo de onde podem resultar corpos de rolhas defeituosos não só devido a características da cortiça, mas também a práticas indevidas de brocagem junto à casca ou à barriga da prancha, por exemplo, que conferem esses defeitos à rolha. Deste modo, após a brocagem mecânica é necessário incluir-se o processo de separação de **Cavacos**, que consiste na eliminação de pedaços de cortiça mal brocados. Os cavacos acabam por ser considerados como um subproduto, a aparta especial, que pode ser igualmente aproveitado pela indústria de aglomerados, nomeadamente para produção de rolhas técnicas, tal como as aparas e o refugo.

Segue-se o processo de **Pré-Secagem** que visa reduzir a humidade presente nas rolhas antes da retificação para valores inferiores a 8% aproximadamente. Na verdade, a retificação tem como principal objetivo a obtenção das dimensões finais das rolhas e caso não existisse a pré-secagem, poderiam haver alterações na estrutura da mesma, com formação de depressões, após

a perda desse excesso de humidade ao longo do processo produtivo. Assim, esta operação baseia-se na inclusão dos vedantes de cortiça numa estufa onde estes estão sujeitos a insuflação de ar quente, aquecido a gás natural. 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.

Tal como foi referido, a **Retificação** serve para se obter as dimensões finais previamente especificadas e para regularizar a superfície da rolha. Este processo engloba duas operações que consistem no lixamento da parte lateral e dos topos das rolhas, respetivamente: a Ponçagem permite a obtenção da dimensão radial pretendida, enquanto que o Topejamento faz com que as rolhas adquiram o comprimento correto. Tal como é presumível, estas operações geram grandes quantidades de pó de cortiça, que é aspirado e aproveitado para colmatagem de rolhas de maior porosidade visual (como poros abertos, algum tipo de fendas ou depressões), fazendo-se aqui um usufruto tanto das rolhas menos atrativas, como do pó de cortiça. A colmatagem serve para melhorar o aspeto visual da rolha e a sua performance através da fixação do pó de cortiça nas zonas porosas utilizando colas à base de resinas que poderão ser naturais e aquosas. Este subproduto (pó de cortiça) pode também ser aproveitado como recurso energético para queima em caldeiras, no entanto este processo ainda não foi desenvolvido pela Cork Supply Portugal, SA.[31]

Neste momento, os corpos das rolhas estão já fabricados e com as dimensões finais. É importante encaminhar então as rolhas para o processo de seleção eletrónica no qual é avaliada a **Qualidade Visual** e os defeitos de cada uma, separando-as por categorias de aspeto superficial (presença, número e tamanho de poros ou lenticelas) e eliminando as rolhas com defeitos que não devem prosseguir no processo produtivo.

Posteriormente, as rolhas já separadas por categorias seguem para a **Lavação** que tem como principal propósito a desinfeção e eliminação dos microrganismos presentes na cortiça. A lavação decorre em tambores de lavagem de eixo horizontal onde são colocadas as rolhas que sofrem a ação sequencial de vários agentes químicos com controlo de temperatura. O presente estudo foca-se na rolha de cortiça natural mais comercializada pela Cork Supply Portugal, SA. cujo processo de lavação utiliza o peróxido de hidrogénio como agente oxidante e o hidróxido de sódio como catalisador. Para controlo do pH, dada a basicidade deste hidróxido, é adicionado ainda ácido sulfâmico no final do processo. De facto, esta operação consiste fundamentalmente

num processo oxidativo, que por si próprio já confere algum branqueamento às rolhas. Porém é ainda adicionado um revestimento de cor esbranquiçada, aprovado para utilização em produtos para contacto com alimentos, bastante diluído que resulta na produção de uma rolha com essa tonalidade. No fim do processo, é ainda adicionadas uma enzima (peroxidase) para neutralização dos resíduos de peróxido. Em suma, esta é uma operação muito agressiva para as rolhas que são sujeitas a uma quantidade apreciável de produtos químicos. Após cada processo de Lavagem geram-se efluentes que são encaminhados para a ETAR da empresa para serem tratados antes de despejados no coletor municipal.



Figura 18. Processo de lavagem das rolhas[31]

Após a lavagem é necessário incluir o processo de **Secagem** para controlo da humidade. Na verdade, esta operação baseia-se na mesma ideologia da pré-secagem e tem em vista o mesmo propósito.

Posto isto, as rolhas seguem para o **Innocork®** que consiste num processo de desodorização e remoção de odores estranhos, desenvolvido e patenteado pela empresa Cork Supply Portugal, SA. e exclusivamente disponível na mesma. O TCA (2,4,6 tricloanisol) é um metabolito resultante de ação fúngica, que apresenta um cheiro característico detetável em níveis de concentração de nanogramas por litro de vinho ou água, e que pode estar presente na estrutura da cortiça e, consequentemente na das rolhas de cortiça. Como tal, este é o maior inimigo da indústria vinícola, na medida em que pode contaminar o vinho e alterar as suas características sensoriais, tanto a nível do paladar como do olfato. Assim, o principal propósito do Innocork® passa pela volatilização das moléculas de TCA, atingindo um rendimento de extração de cerca de 70%; são ainda extraídos outros aromas presentes na estrutura celular das rolhas de cortiça natural através desta tecnologia que combina vapor de água e álcool etílico sob temperatura controlada. O processo inicia-se com a introdução dos vedantes na câmara de aço inoxidável

onde, a uma temperatura controlada, um fluxo de ar misturado com vapor de água e álcool etílico é introduzido. Já em contacto com as rolhas, o vapor de água a esta temperatura moderada cria a condição ideal para facilitar a rutura de ligações entre as moléculas de TCA e a matriz da cortiça. Por outro lado, o álcool etílico cria uma atração molecular ao TCA mais forte que a cortiça, o que leva à extração destas moléculas da cortiça para o fluxo de ar em movimento. O Innocork®, para além da sua inegável eficácia na remoção de odores, é uma tecnologia não agressiva para as rolhas que preserva, ao mesmo tempo, a sua estrutura celular, elasticidade, permeabilidade e outras propriedades mecânicas que fazem destas rolhas ideais para a utilização em garrafas de vinho.[33]



Figura 19. Processo Innocork® de desodorização das rolhas[33]

Opcionalmente, as rolhas podem ser encaminhadas para o processo de **Maquilhagem**, ou Coloração, com o intuito de melhorar o aspeto visual (estética) conseguido através da homogeneização da cor entre rolhas do mesmo lote. Esta homogeneização é atingida através da aplicação de emulsões de base aquosa, que conferem à superfície das rolhas uma determinada cor. Todo o revestimento é completamente distribuído na superfície da rolha, não havendo geração de efluentes neste processo. Na verdade, a Cork Supply oferece um leque de opções de tonalidades, como rosado (cor mais difícil de obter), amarelado, branco e acastanhado. O presente estudo, como já foi referido anteriormente, tem como objetivo a avaliação das rolhas mais comercializadas pela empresa. A coloração usualmente mais pedida pelos clientes é a amarelada e, como tal, é a que vai ser presentemente estudada. Após o processo de Maquilhagem, as rolhas são sempre sujeitas a uma nova **Secagem**, para controlo da humidade, numa estufa com insuflação de ar quente aquecido através da queima de gás natural.

O processo de produção das rolhas de cortiça natural finda então em outro processo de análise da **Qualidade Visual** que segue a mesma ideologia do primeiro, visando a separação das rolhas

por classes de qualidade com eliminação das rolhas defeituosas que não reúnam as qualidades necessárias para uma vedação eficaz. O processo consiste numa seleção em cadeia com combinação de uma etapa manual com outra eletrónica. Primeiramente, as rolhas são escolhidas manualmente pelos operários que por reconhecimento visual eliminam as defeituosas. De seguida, as rolhas são encaminhadas para a escolha eletrónica onde a máquina as separa pelas diferentes classes e separa também as que contêm defeitos. Esta operação prima por não gerar resíduos, sendo as rolhas rejeitadas, dependendo dos seus defeitos, aproveitadas para a indústria de aglomerados e produção de rolhas colmatadas ou corte para rolhas de dimensões inferiores.



Figura 20. Processo de seleção manual das rolhas[31]

Por fim, as rolhas são **embaladas** e armazenadas para posteriormente serem expedidas para clientes ou para as diferentes fábricas de acabamento final da Cork Supply Portugal, SA. distribuídas pelo Mundo.

3.2.3.2 Produção da rolha de cortiça técnica

A produção da rolha de cortiça técnica é uma atividade inserida na indústria aglomeradora. Esta indústria aproveita os subprodutos gerados nos processos de fabrico dos produtos de cortiça natural. As rolhas naturais e os discos para colagem nas rolhas técnicas são os produtos nobres do setor corticeiro, são os mais rentáveis, e são os que absorvem a cortiça mais espessa e com maior qualidade. Assim, durante o processo produtivo das rolhas de cortiça natural o refugo, bem como as aparas são recolhidas e aproveitadas para a produção de rolhas técnicas. O refugo é proveniente da etapa de Preparação da cortiça e consiste nas pranchas de cortiça rejeitadas no Traçamento por não apresentarem qualidade suficiente para a produção de rolhas naturais. As aparas são geradas na etapa de Produção das rolhas naturais, sendo as aparas normais as da cortiça sobrança da Brocagem das rolhas naturais. Já as aparas especiais são provenientes da

operação dos Cavacos e consistem nos corpos de rolhas com defeito que são rejeitados devido a imperfeições da cortiça ou a práticas indevidas de Brocagem.[18]

O refugo e ambas as aparas são então enviados para um Prestador (externo à CSP) que realiza a **Granulação e Classificação** (calibragem por granulometria e por densidade), de onde resulta o granulado 3 – 7 mm que está preparado para ser integrado na cadeia processual da rolha técnica de cortiça. Este granulado é recebido pela fábrica da Cork Supply, responsável pela produção destes vedantes, e inicia-se o processo que compreende as seguintes operações: Remoagem, Classificação, Desinfecção, Secagem, Mistura, Aglomeração, Retificação, Lavação, Secagem, Qualidade Visual e, por fim, Embalamento. De salientar ainda que não são abordadas as operações de produção e colagem de discos de cortiça natural, uma vez que a rolha técnica em estudo não inclui discos.

A empresa produz vários tipos de rolhas técnicas com granulados de diferentes calibres. Para a obtenção de outras granulometrias, a matéria-prima 3 – 7 mm, recebida na fábrica, é submetida a uma nova moagem realizada por dois moinhos, a **Remoagem**, onde se obtém uma mistura de granulados 0,2 – 0,5 mm, 0,5 – 1 mm, 1 – 2 mm e 2 – 3 mm.

Posto isto, é necessário separar os diferentes tipos de granulado através de um processo denominado **Classificação**. Nesta operação, a mistura atravessa grelhas de diferentes calibres, do maior até ao menor, onde se dá essa separação por granulometrias, que é um dos parâmetros críticos deste processo. Na verdade, dentro da mesma granulometria podem ser obtidas diferentes densidades dependendo da cortiça que foi moída, isto é, a cortiça próxima da costa da prancha origina granulado caracteristicamente mais escuro e denso, enquanto que a da barriga origina granulados de menor densidade. Veja-se que a densidade representa também um parâmetro crítico que é tido em conta na Classificação. Assim, após a separação granulométrica, os diferentes tipos de granulados seguem para a mesa densimétrica que se move separando-os por densidades. Este processo origina poeiras que são aspiradas e que podem ser aproveitadas por outras empresas para queima e produção de calor em caldeiras, já que a Cork Supply ainda não desenvolveu essa tecnologia. Atualmente a empresa realiza este tipo de separação na granulometria de 0,5 – 1 mm onde o granulado mais denso, com menor qualidade, é separado e vendido a outras empresas para fabrico de sapatos, pavimento ou produtos de isolamento, por exemplo. Existe ainda rejeição do granulado 0,2 – 0,5 mm por ser equiparado a poeira, podendo ser cedido igualmente a empresas que produzam calor em caldeiras.

De seguida, o granulado, de qualidade satisfatória e já separado por granulometrias, é sujeito a um processo de **Desinfecção** particularmente realizado pela Cork Supply denominado Vapex®. Esta tecnologia tem como objetivo a extração das moléculas de TCA (2,4,6-tricloroanisol) que possam estar contidas nos granulados de cortiça, antes do processo de aglomeração dos corpos das rolhas, utilizando vapor sob pressão. O granulado de cortiça é então introduzido num sistema pressurizado, através do qual é injetado continuamente vapor, gerado em caldeiras de combustão de gás natural, e ar quente a temperatura controlada. Quando o vapor de água sobreaquecido flui através do granulado, há um aumento da sua porosidade e as toxinas e moléculas de TCA que possam existir na estrutura celular da cortiça são arrastadas pelo vapor. O granulado de cortiça sai limpo e desodorizado, e pronto a ser transformado em rolhas técnicas de qualidade que sejam capazes de manter inalterado o sabor original do vinho engarrafado. Este processo inclui também a injeção de ar quente que para além de facilitar o arrastamento das toxinas para a atmosfera, controla ainda a humidade do aglomerado, adquirida nesta operação, facilitando o processo seguinte de secagem.[34]

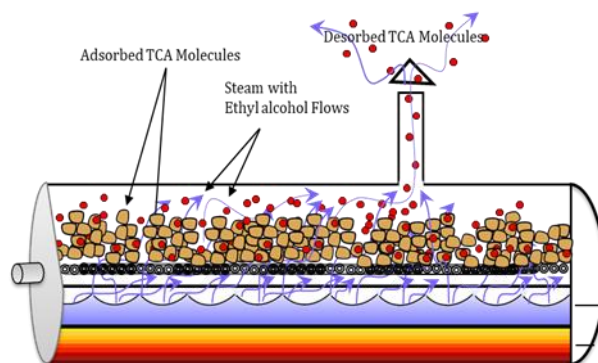


Figura 21. Processo de Desinfecção do aglomerado[34]

A **Secagem** tem como propósito a estabilização da humidade presente no aglomerado através da insuflação de ar quente, aquecido através da queima de gás natural.

Após a Secagem, o granulado fica disponível para ser utilizado pelo processo seguinte, que recolhe as granulometrias necessárias para o fabrico da rolha pretendida. A Rolha Micro utiliza o granulado de menores dimensões (0,5 – 1 mm e 1 – 2 mm), ao passo que a Rolha Aglomerada o de maiores dimensões (1 – 2 mm e 3 – 7 mm). A rolha técnica em estudo na presente dissertação - Micro - mistura ambos os granulados de menores dimensões 0,5 – 1 mm e 1 – 2 mm.

Desta forma, pode-se dar início ao processo de produção dos corpos das rolhas técnicas. O granulado de menores dimensões 0,5 – 1 mm e 1 – 2 mm é misturado durante 15 minutos com óleo parafínico, com função lubrificante, microesferas expansivas, constituídas por copolímeros, e uma cola aglutinante aprovada pela indústria alimentar, à base de isocianatos e polióis. Este processo de **Mistura** irá conceder à rolha propriedades mecânicas e físicas, que vão proporcionar uma excelente vedação aliada a um comportamento adequado na sua inserção e extração.

A mistura é então enviada para o processo de **Aglomeração** onde os corpos das rolhas são individualmente moldados e enviados para um forno quente aquecido por um permutador de calor. O fluído térmico contido no permutador é aquecido através da queima de gás natural e posteriormente é encaminhado para o forno para o aquecer. As rolhas são ainda submetidas a outro forno com temperaturas ligeiramente mais reduzidas onde há entrada de uma corrente de ar proveniente do exterior, à temperatura ambiente.



Figura 22. Rolhas obtidas no processo de Aglomeração[35]

As rolhas obtidas necessitam ainda de um processo de **Retificação** (semelhante às rolhas naturais) para que obtenham as dimensões finais previamente especificadas e para regularizar a sua superfície. Este processo engloba duas operações que consistem no lixamento da parte lateral e dos topos das rolhas, respetivamente: a Ponçagem permite a obtenção da dimensão radial pretendida, enquanto que o Topejamento faz com que as rolhas adquiram o comprimento correto. Estas rolhas passam ainda no processo de Chanfragem que consiste em cortar diagonalmente os cantos, tal como é demonstrado na Figura 23, de modo a facilitar a introdução e extração do vedante da garrafa sem a danificar.



Figura 23. Chanfro das rolhas técnicas (Fotografia de uma rolha produzida na CSP)

As rolhas seguem então para o processo de **Lavação** cujo principal propósito, tal como nas rolhas naturais, é a desinfeção e limpeza. Aliado ao facto de as rolhas técnicas serem formadas por granulado já desinfetado, esta operação é bastante mais agressiva nas rolhas naturais quando comparado com as rolhas técnicas. Assim, neste caso a Lavação é realizada com quantidades de água bastante reduzidas e recorrendo apenas a três reagentes químicos (hidrogenocarbonato de amónio, peróxido de hidrogénio e ácido sulfâmico), o que leva à produção de efluentes líquidos com volumes reduzidos.

Finalmente as rolhas irão ser sujeitas aos processos de **Secagem, Qualidade Visual e Embalamento** que são idênticos aos realizados na produção da rolha natural, já descritos anteriormente. Neste caso, a Seleção Visual é bastante menos exigente comparativamente à das rolhas naturais, na medida em que as técnicas são originadas a partir de processos de aglomeração e, como tal, não dependem das imperfeições presentes nas pranchas de cortiça. Posto isto, as rolhas técnicas são então vendidas a outros clientes ou seguem para as fábricas de Acabamento Final da Cork Supply onde finalizam o seu processo produtivo.

3.2.4 ACABAMENTO

Esta secção foca a etapa de acabamento final de ambas as rolhas estudadas. Nesta etapa existem algumas diferenças entre o processo da rolha natural e o da técnica que vão ser apontadas à medida que cada operação vai sendo descrita. No caso da rolha natural, o processo passa pelas seguintes operações: Despoeiramento, Marcação, Humidificação, Tratamento, Embalamento. A rolha técnica, por ser um produto originado a partir da técnica de aglomeração, não necessita de ser sujeita aos processos de Despoeiramento e Humidificação.

De modo a que não sejam incluídas rolhas defeituosas nos lotes enviados para os clientes, o processo de acabamento final das rolhas de cortiça natural pode ser antecedido por uma última análise da qualidade visual das rolhas, neste caso iniciada pela fase eletrónica e seguida pela fase manual, realizada por operários, onde há rejeição das rolhas com defeito. Esta operação apenas é utilizada em encomendas de rolhas naturais de clientes mais exigentes, sendo que na maior parte das vezes é desconsiderada. Por este motivo, e também por apresentar uma rejeição de rolhas bastante reduzida, este processo foi desprezado neste estudo.

De acordo com a Figura 8, a primeira divergência no procedimento de acabamento final surge logo na operação inicial. De facto, no caso da rolha natural o processo inicia-se no **Despoeiramento**, o que não se verifica no caso da rolha técnica. Este vedante não inclui esta operação pelo facto de ser resultante de um processo de aglomeração, não existindo material de pequenas dimensões (pó ou pequenos pedaços de cortiça) que se possa libertar da sua superfície. No que concerne às rolhas naturais, esta operação é crucial para preparar a superfície para as operações posteriores, sem a inclusão de poeiras. Estes vedantes, devido a todo o processo produtivo que se antecede, apresentam frequentemente pó de cortiça contido nas fendas e lenticelas que deve ser removido para evitar a contaminação dos vinhos. O tratamento por despoeiramento consiste no rolar desordenado das rolhas num cilindro horizontal, com extração de ar e aspiração das poeiras que podem igualmente ser aproveitadas para a colmatação ou valorização energética em caldeiras.

O processo seguinte é a **Marcação**, que é executado em ambos os processos da rolha natural e técnica, e cujo objetivo passa pela impressão das mesmas de acordo com as especificações do cliente. Esta operação pode ser feita a fogo, a tinta ou a laser. A marcação a fogo é feita por indução térmica e, ao invés da realizada a tinta, é aceitável (para efeitos de contacto com alimentos) na marcação nos topos da rolha e apresenta uma durabilidade quase vitalícia. A marcação a tinta é mais minuciosa mas não é considerada tão “limpa” quando comparada com as outras tecnologias, embora a tinta seja aprovada pela indústria alimentar e não represente perigo para a saúde humana. De salientar que caso seja necessária a inclusão de ambas as tecnologias, a fogo e a tinta, deve-se marcar primeiramente a fogo e só depois a tinta. Por outro lado, a marcação a laser é a tecnologia mais avançada e deverá ser a mais utilizada no futuro, contudo é ainda uma solução bastante dispendiosa e demorada.



Figura 24. Processo de marcação das rolhas[31]

Entretanto, as rolhas naturais são incluídas num processo de **Humidificação**, normalmente quando se verificam teores de humidade reduzidos. Humidades inferiores a 5% podem dificultar a inserção e extração da rolha natural e consequentemente danificar a garrafa. Por outro lado, valores de humidade superiores a 8% são igualmente prejudiciais, na medida em que podem favorecer o crescimento de microrganismos e a posterior contaminação do vinho.

Posteriormente ambas as rolhas são incluídas no processo de **Tratamento** de superfície lubrificante que confere à rolha uma maior facilidade de introdução na garrafa, bem como de extração pelo consumidor final, sem danificação da garrafa. No caso da rolha natural é aplicada uma mistura de parafina com silicone que para além da sua lubrificação, tem também como função impermeabilizar a rolha e evitar a absorção de vinho. No caso da rolha técnica, dada já a inclusão, no seu processo de aglomeração, de óleo parafínico e de outros produtos que promovem a lubrificação, é aplicado Elastómero de Silicone. Dada a agressividade dos gases libertados por este produto, no processo das rolhas técnicas é necessário haver aspiração após o Tratamento de modo a que posteriormente não haja contaminação do vinho.

O processo de fabricação das rolhas é então finalizado e resta o **Embalamento** das mesmas para as expedir para o cliente final (engarrafador). Este processo é realizado em sacos impermeáveis que são selados com inclusão de Dióxido de Enxofre para prevenir a contaminação das rolhas. Posteriormente, os sacos passam num detetor de metais para minimizar a perigosidade para a saúde humana.

3.2.5 TRANSPORTES

As operações de transporte ocorrem em várias fases do ciclo de vida das rolhas de cortiça, de modo a que haja circulação de materiais, subprodutos e produtos desde a extração da cortiça

até ao fim de vida destes vedantes. No caso da Cork Supply, cada unidade fabril representa uma etapa diferente do ciclo de vida de ambas as rolhas (preparação da cortiça, produção das rolhas e acabamentos). Assim, é necessário considerar-se o transporte entre as diferentes unidades fabris e ainda os transportes no interior de cada instalação, que normalmente é realizado usando empilhadores elétricos.

Para além disso, é necessário quantificar-se a distribuição das rolhas da empresa para os clientes engarrafadores. Neste caso, averiguou-se quais os países mais consumidores das rolhas produzidas pela Cork Supply e verificou-se que, ao encontro do que foi aferido na Figura 4 e na Tabela 2, são os EUA, França, Itália e Espanha. Portugal foi também considerado, sendo também um dos principais países consumidores das rolhas produzidas pela CSP. O transporte para estes cinco países foi incluído neste estudo onde serão avaliados os impactes ambientais a eles associados.

3.2.6 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 das rolhas de cortiça são na atualidade comuns às opções existentes para a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) de uma determinada região ou país, que passam normalmente pela Deposição em aterro, Incineração e Reciclagem e Compostagem. A Figura 25 demonstra a distribuição dos RSU, no ano de 2013, por entre essas opções de final de vida levadas a cabo pelos países que consomem a maior parte das rolhas produzidas pela Cork Supply. Com base na Figura, pode-se constatar que a Deposição em aterro e a Incineração representam ainda correntemente cerca de pelo menos 60% do destino dos RSU para os países em questão. Porém, atualmente cada vez mais há uma preocupação acrescida com os aspetos ambientais, sendo que de ano para ano é notório um aumento da percentagem de RSU com aproveitamento em Reciclagem e Compostagem. No caso particular das rolhas de cortiça, a via da Reciclagem carece ainda de algum desenvolvimento, embora futuramente possa representar um alternativa viável.[36]

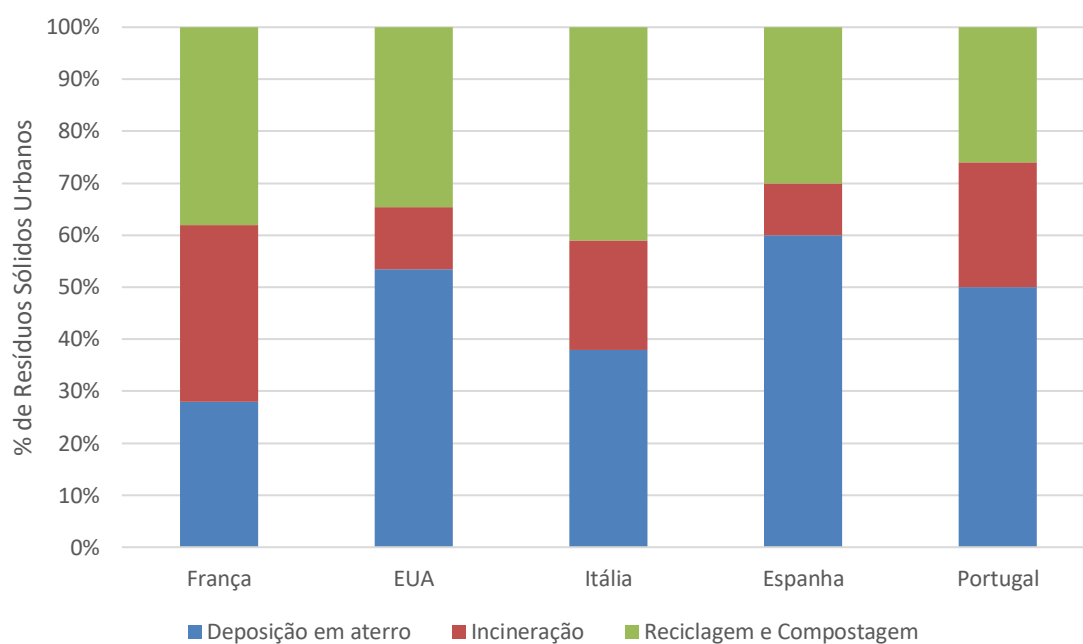


Figura 25. Principais destinos dos Resíduos Sólidos Urbanos para os países mais consumidores das rolhas de cortiça produzidas na Cork Supply, no ano de 2013 [36]

4

METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA (ACV) DAS ROLHAS DE CORTIÇA

4.1 INTRODUÇÃO

A presente secção é a mais relevante e a que a motivou a realização deste trabalho, visto que aqui são definidos o objetivo e âmbito e delineadas a unidade funcional e as fronteiras do sistema para posteriormente ser possível analisar o inventário e avaliar conclusivamente os impactes ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida das duas rolhas. Nesta dissertação é avaliado o impacte ambiental causado pelas rolhas de cortiça naturais e pelas técnicas (de uma determinada especificação) ao longo do seu ciclo de vida, recorrendo essencialmente a informação específica da realidade industrial, com base anual, relativa aos fluxos de materiais e energia. A recolha de informação usada foi essencialmente realizada através de entrevistas e de recolha direta de dados do processo da empresa nacional Cork Supply Portugal S.A., bem como através de informação bibliográfica usada, por exemplo, na identificação dos principais mercados de exportação das rolhas e das suas opções correntes da gestão de fim de vida das rolhas de cortiça. Em seguida é então apresentada a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e são descritas todas etapas a ela associadas, que se baseiam nas normas NP EN ISO 14040: 2008 e NP EN ISO 14044: 2010.[37, 38]

A ACV, tal como está definida na norma, é uma ferramenta que tem como objetivo avaliar os potenciais impactes ambientais associados ao ciclo de vida de um produto ou serviço, que inclui as etapas de extração/obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento de fim de vida, reciclagem e deposição final (abordagem do berço ao túmulo). Este conceito considera então as entradas de materiais, energia e saídas emissões associadas a um sistema de produto ou serviço e, com base nestes dados avalia os potenciais impactes causados pelo consumo de recursos naturais e emissão de poluentes para o ambiente e para a saúde humana. A norma NP EN ISO 14040: 2008 descreve a metodologia a seguir para a aplicação da ACV (princípios e enquadramento), sendo complementada com os requisitos e linhas diretrizes da NP EN ISO 14044: 2010. A ferramenta de ACV permite determinar quais as etapas

do ciclo de vida que apresentam maior impacto e qual a sua contribuição para as categorias de impacto ambiental. À avaliação dos impactos segue-se a interpretação de resultados de forma a fornecer informação útil para a tomada de decisões que pode ser aplicada a vários níveis, permitindo, por exemplo, a escolha de um produto, tecnologia ou processo que cause um menor impacto ambiental. A identificação das etapas e operações mais poluentes permitem ainda aferir quais os processos que devem sofrer alterações, de modo a que se obtenha uma melhor performance associada a um impacto ambiental inferior.[37 – 40]

Contudo, esta metodologia apresenta também algumas desvantagens. Trata-se de uma metodologia complexa, exigindo a recolha de uma quantidade de dados substancial, bem como um conhecimento especializado no tema. Além disso, não considera alterações futuras relativamente à tecnologia utilizada, ou à procura existente por um determinado produto, mas também efeitos sociais, sendo apenas quantificados os efeitos no ambiente.[41]

Como se pode observar na Figura 26, segundo as normas em análise, um estudo ACV envolve então quatro fases, nomeadamente, a Definição do Objetivo e Âmbito, Análise de Inventário, Avaliação de Impactes Ambientais e Interpretação, as quais serão descritas de seguida:

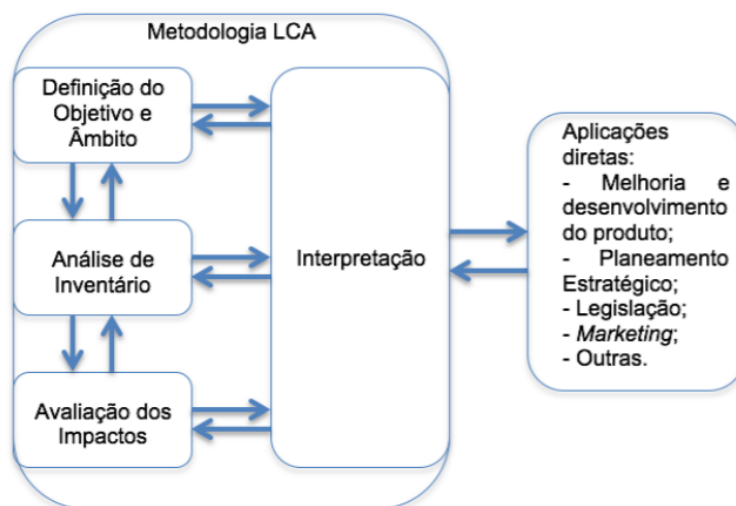


Figura 26. Fases da Metodologia LCA (adaptado de ISO 14040, 2008)

➤ Definição do Objetivo e Âmbito

A primeira fase especifica os objetivos e o procedimento da investigação proposta. Esta fase inclui, por exemplo, a definição da fronteira do sistema (conjunto de critérios que especificam quais os processos unitários que fazem parte do sistema), da unidade funcional do sistema

(desempenho quantificado de um sistema a ser utilizado como unidade de referência), e dos requisitos relativamente à qualidade dos dados.

A definição da unidade funcional e da fronteira do sistema são passos fundamentais para qualquer análise comparativa entre duas alternativas. Assim, para um dado caso, deve ser identificado um elemento representativo do processo que permaneça constante para ambas as alternativas a estudar, sendo este definido como unidade funcional.[42]

A fronteira do sistema delimita o processo em análise, indicando as entradas e saídas de materiais que devem ser considerados. Dependendo do tipo de análise pretendida, a fronteira pode ser classificada em berço ao túmulo (se considera o ciclo de vida completo), porta a porta (se considera apenas um processo), berço à porta (se apenas considera as fases de aquisição de matérias-primas e de produção), e porta ao túmulo (se apenas considera as fases de utilização e de fim de vida).[41, 42]

➤ **Análise de Inventário**

A segunda fase envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas de materiais e energia ao longo do ciclo de vida de um produto. O inventário quantifica os consumos de recursos naturais e a emissão de poluentes para o ar, solo e água, reportando-os à unidade funcional.

➤ **Avaliação de Impactes Ambientais**

A terceira fase avalia os potenciais efeitos humanos e ambientais da utilização de recursos energéticos, de água e matérias-primas e, as emissões ambientais identificadas na análise de inventário. Os consumos de recursos e emissões de poluentes são relacionados com as respetivas categorias de impacto ambiental, ao que se segue a quantificação de indicadores que expressam a contribuição potencial para determinada categoria de impacto. Esta etapa prevê a realização das etapas de Classificação, Caracterização, Normalização, Agregação e Ponderação que são classificados como elementos obrigatórios ou opcionais, segundo a norma NP EN ISO 14040: 2008. Os passos obrigatórios (Classificação e Caracterização) são realizados de modo a selecionar as categorias de impacto, indicadores de categorias de impacto e modelos de caracterização, de acordo com o objetivo e o âmbito definidos. Os resultados obtidos nesta etapa expressam a contribuição potencial para determinada categoria de impacto ambiental. Os passos opcionais (Normalização, Agregação e Ponderação) são realizados de modo a normalizar, agrupar ou pesar os resultados dos indicadores de categorias de impacto.[37]

➤ **Interpretação (esta fase influencia a alteração ou a melhoria das fases anteriores)**

A última fase avalia os resultados da análise de inventário e avaliação de impacte. Analisa resultados, delinea conclusões, identifica limitações e proporciona recomendações baseadas nos resultados das fases anteriores da ACV. Esta fase tem como objetivo ainda a transmitir os resultados da avaliação de impacte ambiental de uma forma clara e transparente, em concordância com o objetivo e âmbito do estudo.

Os resultados da ACV podem ter várias aplicações diretas, como sejam:

- Identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos, ao longo do seu ciclo de vida;
- Fornecimento de informação útil para a tomada de decisões na indústria, governo ou organizações não governamentais (por exemplo, para a elaboração de propostas de planeamento estratégico, na definição de prioridades, ou na conceção de um produto);
- Seleção de indicadores relevantes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição;
- Marketing através da divulgação dos resultados de ACV de modo a melhorar a imagem pública de uma empresa ou organização.

4.2 A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA APLICADA ÀS ROLHAS

Esta secção tem como objetivo aplicar a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida apresentada anteriormente, aos produtos estudados na presente dissertação, a rolha natural e a técnica mais comercializadas pela empresa. Como tal, primeiramente é importante apresentar o objetivo e âmbito do trabalho, e depois definir a Unidade Funcional e as Fronteiras do sistema.

4.2.1 DEFINIÇÃO DO OBJETIVO E ÂMBITO

O objetivo da presente dissertação centra-se na avaliação comparativa do impacte ambiental associado ao ciclo de vida de uma rolha de cortiça natural e de uma rolha técnica. Esta avaliação inclui a caracterização das categorias de impacte associadas a cada rolha, a determinação da contribuição de cada uma das etapas do ciclo de vida destes produtos para o impacte ambiental global e a identificação da etapa que apresenta maior carga ambiental. A metodologia de ACV a ser utilizada no trabalho prevê uma abordagem do tipo berço-túmulo, onde serão avaliadas todas as etapas desde a Gestão Florestal dos sobreiros até aos processos de Fim de Vida das rolhas. O inventário realizado tem por base as bases de dados do software utilizado (SimaPro

versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017)), a informação nacional e a fornecida pela empresa Cork Supply Portugal, SA., referentes às tecnologias utilizadas em cada processo, consumos de materiais e emissões e poluentes.

4.2.2 UNIDADE FUNCIONAL E FRONTEIRAS DO SISTEMA

A Unidade Funcional (UF) selecionada para esta tese são 1000 rolhas de cortiça natural e 1000 rolhas de cortiça técnicas. Tal como referido anteriormente, para a realização deste estudo foram selecionadas a rolha natural e técnica mais comercializadas pela empresa cujas especificações se encontram apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Características da rolha natural e da técnica selecionadas para a realização do presente estudo (Cork Supply, 2018)

Características	Rolha natural	Rolha técnica
Comprimento médio	45 mm	44 mm
Diâmetro médio	24 mm	24 mm
Tipo de lavação	Lavação peróxido	Lavação peróxido
Massa Volúmica média	120 – 220 kg/m ³	245 – 305 kg/m ³
Humidade média	4 – 8 %	4 – 8 %
Maquilhagem	Amarelado	-
Marcação	Tinta e fogo	Tinta e fogo
Granulometria	-	Micro (0,5 – 2 mm)
Discos de cortiça natural	-	Sem discos

Tanto a Massa Volúmica como a Humidade apresentam uma gama de variação que tem como justificação a heterogeneidade da matéria-prima. Pelo facto da cortiça ser um bem natural existem flutuações nestes parâmetros.

Sendo a abordagem considerada do tipo berço-túmulo, são analisadas e avaliadas as seguintes etapas do ciclo de vida: a Gestão Florestal, a Preparação da cortiça, a Produção da rolha natural, a Produção da rolha técnica e o Acabamento Final e Fim de Vida das duas. Como é sabido, a rolha técnica é produzida a partir dos subprodutos originados nas etapas de Preparação da cortiça e de Produção da rolha natural (Refugo e Aparas). Estes subprodutos necessitam de uma primeira moagem, que é realizada por uma empresa sub-contratada. Sendo assim, esse processo é considerado no presente estudo e está associado à etapa de Produção das rolhas técnicas.

Para além destas fases sequenciais foram considerados subsistemas intervenientes no ciclo de vida das rolhas de cortiça, nomeadamente os transportes de cortiça entre as diferentes unidades

fabris e a distribuição das rolhas para os diferentes clientes engarrafadores distribuídos mundialmente, bem como os realizados no interior de todas as instalações fabris incluídas nas fronteiras deste estudo. A Figura 27 apresenta então as Fronteiras do sistema em estudo onde se podem observar as fases do ciclo de vida em análise e todas as operações que lhes estão associadas.

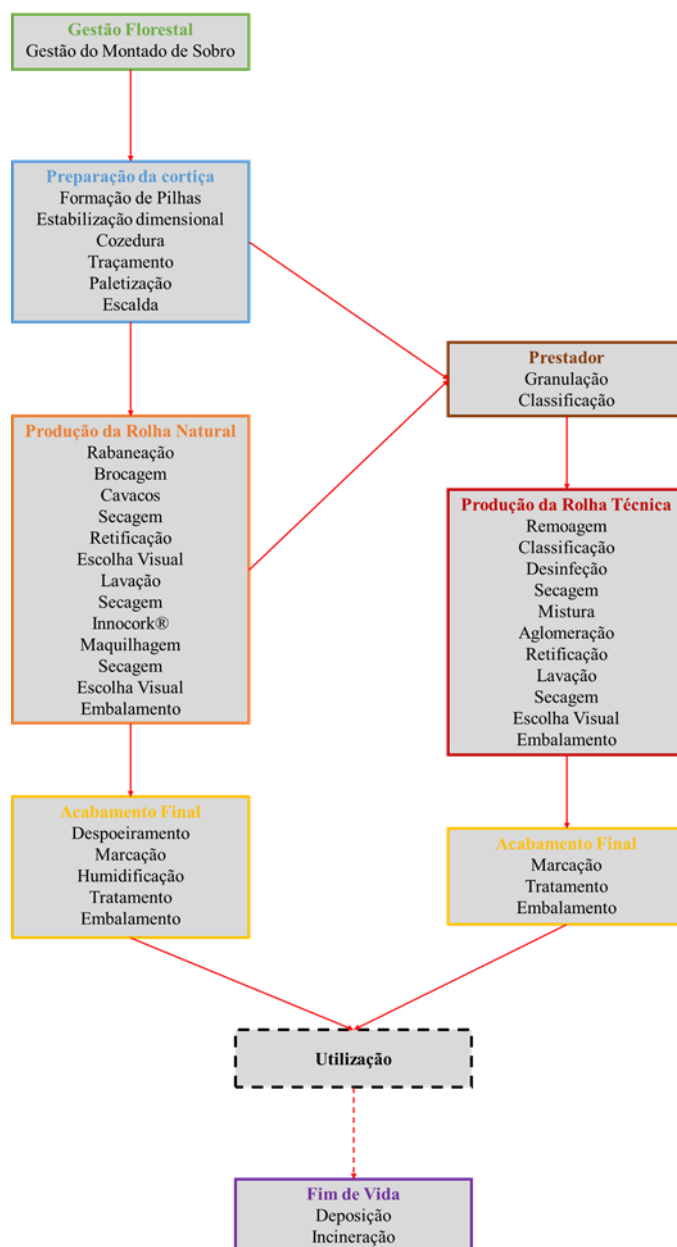


Figura 27. Fronteiras do sistema em estudo para ambas as rolhas. Os processos representados a linha tracejada foram excluídos deste estudo.

Na presente dissertação optou-se por separar as etapas de Produção das rolhas do Acabamento Final das mesmas. Na verdade, devido à especificidade das operações realizadas, é comum

realizar-se esta separação na indústria rolheira, sendo as operações de Produção das rolhas realizadas pelas empresas que posteriormente irão vender os seus produtos às responsáveis pelas operações de Acabamento Final. Por sua vez, estas vendem as rolhas prontas a ser engarrafadas ao cliente vinícola. No caso em estudo, a Cork Supply Portugal, SA realiza ambos os processos mas em unidades fabris distintas, o que motivou esta separação das etapas de produção e de acabamento final.

No que diz respeito aos Transportes, quase todos eles foram considerados neste estudo, incluindo os realizados no interior das unidades fabris, normalmente utilizando empilhadores elétricos, e os interempresariais com circulação de cortiça em cru, de rolhas entre processos e até ao cliente engarrafador final. A Figura 28 demonstra quais os transportes realizados ao longo do ciclo de vida das duas rolhas consideradas e a distância percorrida em cada um deles. Os Montados de sobro localizam-se maioritariamente no Alentejo, a unidade de Preparação da cortiça no Montijo, a unidade de Manufatura das rolhas naturais em São Paio de Oleiros e a das rolhas técnicas em São João de Ver, o Prestador responsável pela Moagem para obtenção do granulado em Mozelos e a unidade de Acabamento Final em Rio Meão. Veja-se que a unidade de Preparação está localizada no Sul do País a cerca de 300 km das outras unidades localizadas no Norte. Após o engarrafamento, o impacto associado ao transporte das rolhas passa a ser comparativamente insignificante, na medida em que a sua massa comparada com a da garrafa + vinho deixa de ser significativa. Assim, este estudo desconsidera o transporte desde a extração da rolha pelo consumidor até ao seu destino de Fim de Vida.

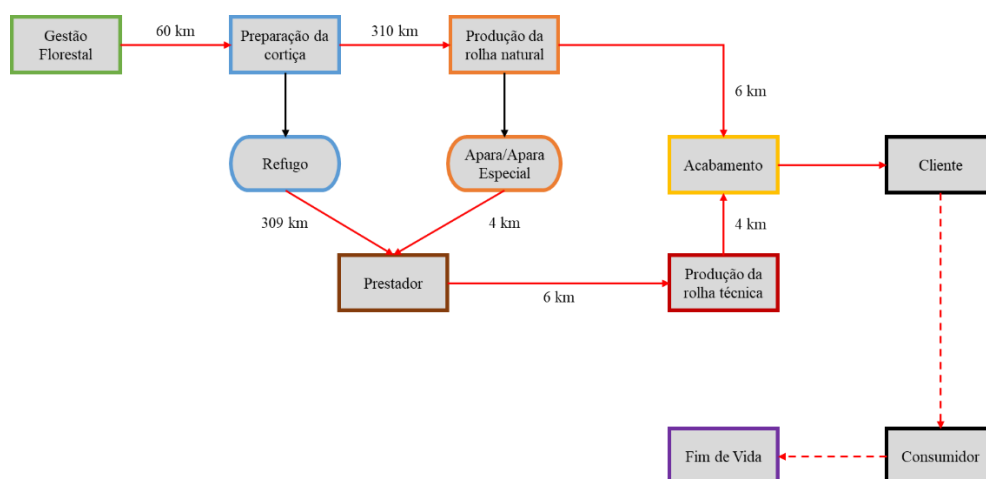


Figura 28. Transportes associados ao Ciclo de Vida das rolhas em estudo

Neste estudo é também desconsiderado o processo de utilização das rolhas, na medida em que a quantificação de materiais e energia usados ou causados durante este processo seria desprezável quando comparado com todos os outros analisados.

Ao longo do ciclo de vida das rolhas em estudo, para além do Refugo e das Aparas, são ainda produzidos outros subprodutos, como por exemplo o pó de cortiça e rolhas defeituosas. Estes subprodutos irão ser contabilizados no balanço de massa que irá ser apresentado na secção seguinte e que servirá de base à modelação do ciclo de vida das rolhas. Porém, sendo o setor corticeiro conhecido pela reutilização de quase todos os subprodutos, a maior parte deles são vendidos pela empresa para por exemplo, granulação e produção de materiais de construção ou de isolamento. O impacto ambiental associado a estes subprodutos foi desconsiderado deste estudo. As operações de engarrafamento e os potenciais impactos ambientais resultantes das atividades nas áreas administrativas e de controlo de qualidade, tal como as operações relacionadas com a construção de edifícios, equipamentos e máquinas e a produção de materiais subsidiários (produtos auxiliares para a produção de rolhas de cortiça) foram igualmente desconsiderados. A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados durante o ciclo de vida das rolhas é também excluída das fronteiras do sistema, embora se considere uma gestão adequada por parte da empresa das embalagens geradas e dos restantes resíduos sólidos urbanos.

4.3 ANÁLISE DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

A inventariação dos fluxos de materiais e energia consumidos ou gerados durante o ciclo de vida das rolhas de cortiça natural e técnica implica a listagem de recursos naturais, energia e emissões para o ar, solo e água consumidos e gerados pelos produtos em análise ao longo do seu ciclo de vida. Como tal, esta inventariação 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 extração até ao acabamento das duas rolhas. Esta análise permite determinar a relação entre a unidade funcional (1000 rolhas de cortiça natural e 1000 rolhas de cortiça técnica) e a utilização de matéria-prima (cortiça em cru) necessária para as produzir. A partir desta relação é possível estimar corretamente os consumos e emissões associados aos processos de Gestão Florestal e Preparação da Cortiça.

As Figuras 29 e 30 apresentam, respetivamente, o fluxo de material da cortiça desde a cortiça que é produzida até à fabricação das rolhas naturais e das técnicas. Em cada uma das Figuras,

para além dos fluxos referentes à produção das rolhas, constam ainda todos os subprodutos obtidos ao longo de ambas as cadeias processuais, que podem ainda ser aproveitados pelo subsector granulador. De salientar ainda que a etapa de Acabamento Final das rolhas não é incluída em qualquer dos Fluxogramas pelo facto de apresentar taxas de perdas de material desprezáveis.

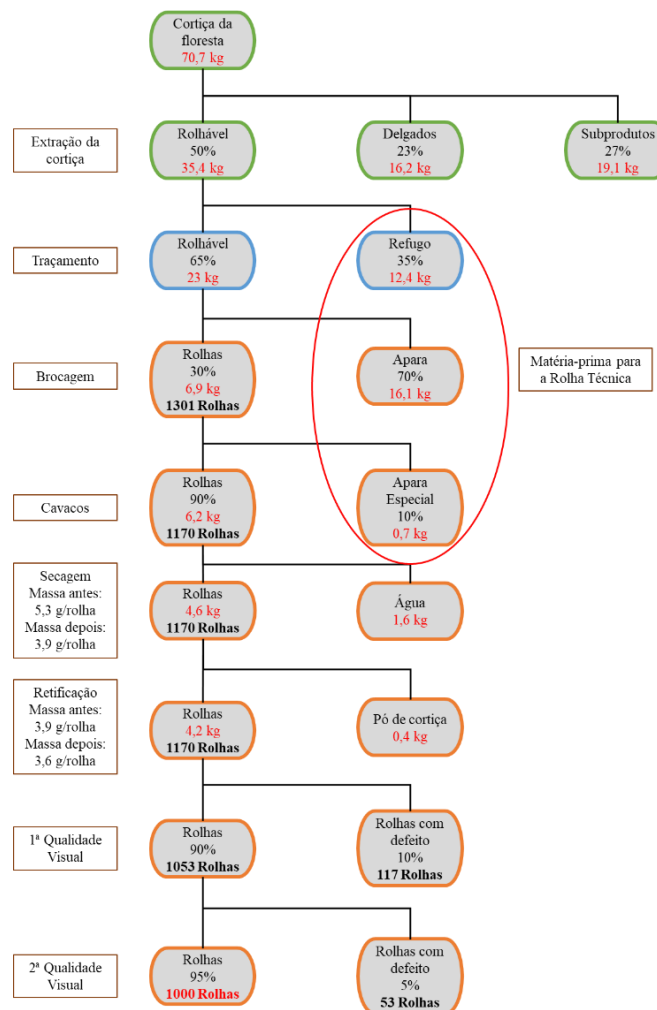


Figura 29. Fluxos de cortiça desde a extração da matéria-prima (cortiça de árvore) até à produção da Rolha de cortiça natural (Cork Supply, 2018)

A Figura 29 demonstra que são necessários 70,7 kg de cortiça produzidos nos Montados de Sobro para se fabricarem 1000 rolhas naturais. No entanto, apenas metade desta quantidade (35,4 kg) é integrada na cadeia produtiva das rolhas de cortiça natural como matéria-prima para o setor rolheiro. A outra metade não apresenta qualidade ou espessura suficientes para este efeito e é aproveitada pelo setor aglomerador. Como é sabido, os Refugos, Aparas e Aparas Especiais são enviados para a unidade fabril responsável pela produção de rolhas técnicas e o

pó de cortiça é vendido para combustão e produção de calor em caldeiras. As rolhas defeituosas, tal como os Delgados, são igualmente vendidas para Moagem e aproveitamento para o ramo aglomerador.

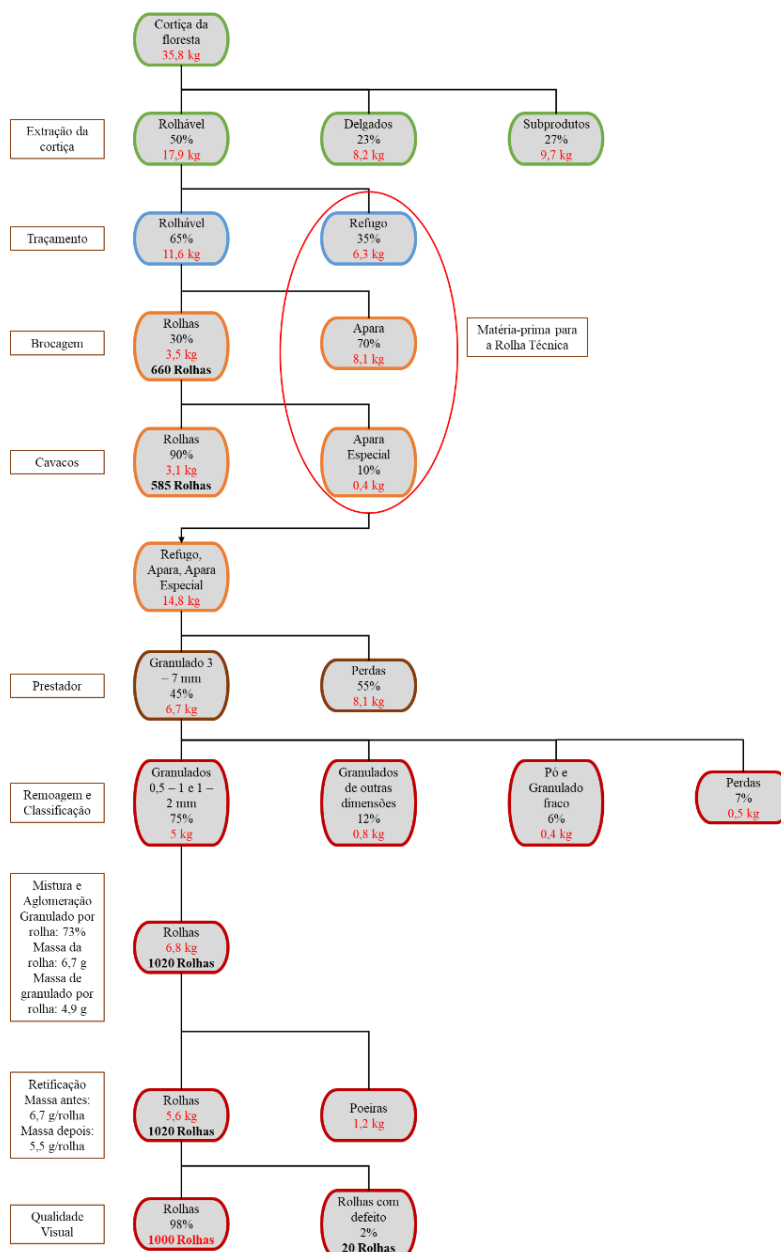


Figura 30. Fluxos de cortiça desde a extração da matéria-prima (cortiça de árvore) até à produção da Rolha de cortiça técnica (Cork Supply, 2018)

A Figura 30 demonstra que são necessários 35,8 kg de cortiça produzidos nos Montados de Sobro para se fabricarem 1000 rolhas técnicas, o que corresponde a sensivelmente metade da cortiça necessária para a produção de 1000 naturais. Tal como no caso anterior, apenas metade

desta quantidade (17,9 kg) é integrada na cadeia produtiva das rolhas de cortiça natural, por apresentar qualidade e espessura suficientes para este efeito, e a metade restante da cortiça é vendida ao setor granulador. As 585 rolhas naturais que constam na Figura 30 são naturalmente desconsideradas deste processo, sendo apenas auxiliares nos cálculos do balanço de massa, que dá a conhecer a quantidade necessária de matéria-prima que permite produzir 1000 rolhas técnicas. As Aparas e Aparas especiais, produzidas nas operações de Brocagem e de Cavacos das rolhas naturais, juntamente com o Refugo, gerado na etapa de Produção de cortiça, constituem então a matéria-prima utilizada para a produção das rolhas técnicas. Assim, são necessários 14,8 kg destes subprodutos para se produzirem 1000 rolhas técnicas. De salientar ainda que esta matéria-prima necessita de ser moída antes de ser encaminhada para a unidade fabril de produção das rolhas técnicas. Este processo é assegurado por uma empresa subcontratada e apresenta uma percentagem de perdas materiais estimadas de 55%, o que se traduz num aproveitamento de menos de metade da cortiça. A cortiça não aproveitada para o fabrico destas rolhas técnicas é desconsiderada deste estudo, sendo essencialmente vendida pela empresa para combustão e produção de calor em caldeiras.

Em resumo, constatou-se que o fluxo de cortiça da rolha de cortiça natural induz a produção de 29,2 kg de Refugo e Aparas associados à produção das 1000 rolhas naturais. Esta quantidade representa sensivelmente o dobro da necessária para a produção de 1000 rolhas técnicas. Como tal conclui-se que de uma base material fixa de matéria-prima (cortiça) é possível produzir de forma eficiente uma quantidade de rolhas na proporção de um terço de rolhas naturais e dois terços de rolhas técnicas, isto é, para uma certa quantidade de cortiça é possível produzir sensivelmente o dobro das rolhas técnicas em relação às naturais. Veja-se que esta relação foi feita contabilizando as massas das duas rolhas, entrando em linha de conta com o facto da rolha de cortiça técnica ser composta por outros materiais para além da cortiça, nomeadamente o óleo parafínico, as microesferas expansivas e a cola aglutinante.

Em seguida são apresentados, para cada um dos processos do ciclo de vida das rolhas de cortiça natural e técnica, os materiais e energia consumidos, bem como as emissões para o ar, solo e água. Nesta tese a maior parte dos dados de inventário foram cedidos pela empresa Cork Supply Portugal, SA. (das suas unidades de preparação, fabricação e acabamento) e são representativos da sua realidade industrial relativa aos processos, materiais e energia utilizados correntemente nas diferentes fases do ciclo de vida de ambas as rolhas de cortiça. As restantes informações

foram obtidas por consulta bibliográfica e das bases de dados disponibilizadas pelo SimaPro. Em todas as etapas houve a necessidade de se diferenciar os inventários relativos a cada rolha. Nas etapas comuns às duas rolhas, nomeadamente na Gestão Florestal, Preparação da cortiça, Transportes e Fim de Vida, os valores foram reportados às unidades funcionais de cada rolha. No caso das etapas de Produção e de Acabamento das rolhas, há a necessidade de se diferenciar os inventários pelo facto de os dados inventariados e os processos produtivos serem distintos. Esta separação de inventários vem também facilitar a avaliação comparativa dos impactes ambientais associados a todo o ciclo de vida das duas rolhas, desde a Gestão Florestal até ao Fim de Vida.

4.3.1 GESTÃO FLORESTAL

No horizonte temporal disponível para a realização desta tese, não foi possível entrevistar diretamente os produtores florestais e explorar as informações relativas à atividade florestal. Os estudos analisados que incluem apenas esta etapa, nomeadamente González-García et al., 2013, não permitem recolher informações para o cálculo dos consumos de recursos e uso de solo. Como tal, alguns dos valores utilizados no inventário desta etapa foram retirados de Silva (2009) que realizou um estudo de ACV das rolhas de cortiça natural produzidas na mesma empresa - Cork Supply, SA. Os consumos foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base na produção média de cortiça no descortiçamento e do balanço de massa referente à presente dissertação (Figuras 29 e 30). A informação recolhida diz respeito a um período temporal de sensivelmente nove anos, que corresponde ao tempo entre dois descortiçamentos.[43]

Durante a etapa de Gestão Florestal, os consumos estão associados essencialmente ao consumo de Diesel nos equipamentos agrícolas utilizados nos processos de preparação e de limpeza do solo, bem como nos de manutenção do montado. De facto, esta questão deriva principalmente da necessidade contínua de operações de limpeza da vegetação espontânea e de podas ao longo do ciclo de vida do sobreiro, nomeadamente após cada extração de cortiça, que se traduzem em elevados consumos de combustível em tratores e motosserras. De salientar ainda os consumos de utilização de corretores de solo e fertilizantes para promoverem o crescimento das árvores, que incluem nas suas composições, por exemplo, Cal, Boro e Óxidos de Fósforo e de Potássio. No trabalho realizado por Silva (2009), os valores utilizados para o inventário resultam essencialmente de entrevistas realizadas a alguns produtores florestais que cederam os dados

referentes aos consumos de combustível (Diesel) nos equipamentos industriais, na zona do Montijo e Alentejo. Quanto aos fertilizantes, o autor neste caso recorreu à bibliografia para estimar os consumos destes produtos.[43]

Os dados do inventário associados à utilização dos terrenos para cultivo do sobreiro, dos corretores de solo e dos fertilizantes, ao consumo de Diesel e emissões que resultam da sua combustão nas motosserras utilizadas na Poda e Desbaste e à produção do Diesel consumido pelas máquinas agrícolas utilizadas nas etapas de Corta-Mato, Gradagem e Fertilização foram estimados a partir das bases de dados do SimaPro. Já as emissões gasosas associadas à combustão do combustível nestas máquinas agrícolas foram estimadas com base em fatores de emissão recolhidos na bibliografia (EMEP-CORINAIR, 2016). A Tabela 5 resume então todas as entradas e saídas de materiais e energia no processo de Gestão Florestal para ambas as rolhas.[44]

Tabela 5. Inventário da etapa de Gestão Florestal expresso em função da unidade funcional, referente às duas rolhas de cortiça em estudo.

	Rolha Natural	Rolha Técnica	
Input/Output	Quantidade		Unidade
Input			
Bases de dados:			
Área cultivada ¹	0,0141	0,0072	ha
Carbonato de Cálcio ²	3,02E-5	1,53E-5	kg
Fósforo ²	1,13E-3	5,72E-4	kg
Potássio ²	7,53E-4	3,81E-4	kg
Enxofre ²	6,79E-5	3,44E-5	kg
Zinco ²	1,51E-5	7,65E-6	kg
Boro ²	1,51E-5	7,65E-6	kg
Diesel ³	0,5640	0,2856	kg
Poda e Desbaste ⁴	9,33E-3	4,72E-3	hr
Output			
Cortiça extraída	70,7	35,8	kg
Emissões para o ar:⁵			
BC	6,27E-4	3,17E-4	kg
CH ₄	4,91E-5	2,48E-5	kg

CO	6,47E-3	3,28E-3	kg
CO ₂	1,7822	0,9024	kg
N ₂ O	7,67E-5	3,88E-5	kg
NH ₃	4,51E-6	2,28E-6	kg
NMVOC	2,00E-3	1,01E-3	kg
NO _x	0,0194	9,84E-3	kg
PM ₁₀	1,08E-3	5,46E-4	kg
PM _{2.5}	1,08E-3	5,46E-4	kg
TSP	1,08E-3	5,46E-4	kg
Cádmio	5,64E-9	2,86E-9	kg
Cobre	9,59E-7	4,85E-7	kg
Crómio	2,82E-8	1,43E-8	kg
Níquel	3,95E-8	2,00E-8	kg
Selênio	5,64E-9	2,86E-9	kg
Zinco	5,64E-7	2,86E-7	kg
Benz(a)antraceno	4,51E-8	2,28E-8	kg
Benzo(b)fluoranteno	2,82E-8	1,43E-8	kg
Dibenzo(a,h)antraceno	5,64E-9	2,86E-9	kg
Benzo(a)pireno	1,69E-8	8,57E-9	kg
Criseno	1,13E-7	5,71E-8	kg
Fluoranteno	2,54E-7	1,29E-7	kg
Fenantreno	1,41E-6	7,14E-7	kg

1. Impactes ambientais associados à utilização do terreno para o cultivo dos Sobreiros, estimados pelo programa SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017).

2. Valores médios de fertilizantes e corretores de solo estimados a partir da consulta a produtores florestais e informação bibliográfica; impactes ambientais associados a cada um dos compostos.[13]

3. Diesel consumido pelas máquinas agrícolas utilizadas nas etapas de Corta-Mato, Gradagem e Fertilização.

4. Horas de trabalho nas operações de Poda e Desbaste, considerando o consumo de Diesel por parte das motosserras e suas emissões.

5. Emissões para o ar resultantes da combustão do Diesel consumido pelas máquinas agrícolas utilizadas nas etapas de Corta-Mato, Gradagem e Fertilização; estes valores foram calculados com base nos fatores de emissão para “Agriculture/Forestry/Fishing; Off-road vehicles & other machinery” disponíveis em EMEP-CORINAIR (2016).[44]

4.3.2 PREPARAÇÃO DA CORTIÇA

Na etapa de Preparação da cortiça predominam os consumos de energia elétrica, gás propano e água proveniente de um furo presente nas instalações da empresa, associados apenas aos processos de Cozedura e Escalda. Para além da extração da cortiça, apenas estes processos são responsáveis por entradas e saídas no inventário referente a esta etapa, sendo que as operações de Formação de Pilhas, Estabilização, Traçamento e Paletização não fazem uso de materiais ou energia de relevância para uma inventariação.

O processo de extração da cortiça foi considerado nesta etapa. A informação utilizada na inventariação desta operação foi retirada igualmente de Silva (2009) onde, mais uma vez, o autor obteve a informação a partir de entrevistas a produtores florestais. Como foi referido anteriormente esta operação é essencialmente manual, sendo que os únicos consumos estão associados ao diesel na operação de corte da cortiça extraída (retirada de calços) utilizando motosserras. O transporte da cortiça desde os Montados até à unidade fabril da Cork Supply de preparação da cortiça é ainda considerável (em média 60 km) e irá ser incluído nos Transportes.[43]

Assim, os processos de Cozedura e Escalda partilham a responsabilidade em termos de consumos e emissões de poluentes. As emissões libertadas são devidas à queima de gás propano e uso de eletricidade. O efluente líquido produzido é resultante do processo de Cozedura/Escalda. Este efluente líquido possui uma elevada carga orgânica, bem como elevadas quantidades de cloretos na sua constituição. Como tal, é sujeito a tratamentos biológicos na ETAR da empresa, antes de ser descarregado no coletor municipal e encaminhado para a respetiva ETAR municipal. As características do efluente à saída do tratamento realizado pela empresa são apresentadas na Tabela 6, sendo que com base nesses valores foram calculadas as emissões para a água associadas ao efluente descarregado. Após este tratamento na empresa, são obtidas lamas que são encaminhadas para o aterro sendo aí depositadas.

A inventariação de consumos de materiais e energia dos processos de Cozedura e Escalda teve por base informação de 2018, disponibilizada pela unidade industrial da Cork Supply Portugal, S.A. (Unidade de Preparação da Cortiça) situada na cidade de Montijo, Portugal. Também os dados do inventário referentes às características do efluente e suas emissões para a água, e à quantidade de lamas obtidas após o tratamento foram cedidos pela empresa e referentes ao mesmo período de tempo. Já as emissões gasosas associadas ao consumo de gás natural, diesel

e eletricidade, bem como os impactes ambientais associados ao tratamento do efluente e à deposição das lamas em aterro foram estimados pelas bases de dados do SimaPro.

A Tabela 6 resume todas as entradas e saídas de materiais e energia na etapa de Preparação da cortiça para ambas as rolhas. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base nos balanços de massa apresentados anteriormente (Figuras 29 e 30).

Tabela 6. Inventário da etapa de Preparação da cortiça expresso em função da unidade funcional, referente às duas rolhas de cortiça em estudo.

	Rolha Natural	Rolha Técnica	
Input/Output	Quantidade		Unidade
Input			
Cortiça extraída ¹	35,4	17,9	kg
Água do poço	0,0877	0,0443	m ³
Bases de dados:			
Corte da cortiça extraída ²	7,36E-3	3,72E-3	hr
Caldeira a Gás Propano ³	14,8711	7,5195	kWh
Energia Elétrica	1,8601	0,9406	kWh
Output			
Cortiça trabalhada rolhável ⁴	23,0	11,6	kg
Refugo ⁵	12,4	6,3	kg
Tratamentos aplicados:			
Tratamento biológico do efluente da Cozedura/Escalda	0,0877	0,0443	m ³
Deposição em aterro das lamas geradas na ETAR	0,1388	0,0702	kg
Emissões para a água:⁶			
Cloretos (750 mg/L)	6,58E4	3,32E4	mg
CQO (Carência Química de Oxigénio) (180 mg/L)	1,58E4	7,97E3	mg
Azoto amoniacal (5 mg/L)	439	222	mg
Azoto total (5 mg/L)	439	222	mg
Fósforo total (5 mg/L)	439	222	mg

1. Cortiça extraída de qualidade superior, com exclusão dos delgados e subprodutos que são encaminhados para a indústria aglomeradora.

2. Operação de Corte da cortiça extraída, em termos de tempo tomado, e ao consumo de Diesel por parte das motosserras e suas emissões.
3. Utilização da caldeira a gás propano, para aquecimento da água nos processos de Cozedura e Escalda, e ao consumo de gás por parte da caldeira e suas emissões.
4. Cortiça trabalhada rolhável, selecionada na operação de Traçamento.
5. O refugo é encaminhado para o Prestador e posteriormente para a unidade fabril responsável pela produção de rolhas técnicas.
6. Emissões para a água associadas ao efluente gerado nos processos de Cozedura/Escalda, já tratado pela ETAR da empresa, que posteriormente é despejado no esgoto e tratado pela ETAR municipal.

4.3.3 PRODUÇÃO DAS ROLHAS

Nesta secção constam os inventários da Produção das duas rolhas de cortiça. Como é sabido, as cadeias processuais são bastante distintas e consequentemente também os dados inventariados serão diferentes. Assim, optou-se por separar os dois inventários, o que vai possibilitar a análise comparativa entre os impactes ambientais associados a cada uma das rolhas nesta etapa.

4.3.3.1 Produção da rolha de cortiça natural

Na etapa de Produção da rolha de cortiça natural predominam os consumos de energia elétrica associados ao funcionamento das máquinas. Estas requerem outros produtos de manutenção que foram também incluídos no inventário e que visam evitar a deterioração ou a danificação das diferentes máquinas, nomeadamente o óleo lubrificante utilizado nas operações de rabaneação e de brocagem. Ao longo desta etapa há também uma elevada dependência de Gás Natural, nas operações de Secagem, Lavação e Desodorização, que através da sua combustão é utilizado para produção de calor e aquecimento de água em caldeiras e do ar insuflado nas estufas.

Na Lavação são utilizados diversos reagentes químicos bastante agressivos, que promovem a desinfecção das rolhas e a remoção de resíduos não desejados, e ao consumo de grandes quantidades de água proveniente do poço. Como tal, este processo gera águas residuais com elevada carga orgânica que necessita de tratamento interno na ETAR da empresa antes de ser despejado no esgoto. Este tratamento funciona à base de processos químicos de coagulação, floculação e decantação e as lamas geradas são depositadas em aterro. As características do efluente à saída do tratamento realizado pela empresa são apresentadas na Tabela 10, sendo que

com base nesses valores foram calculadas as emissões para a água associadas ao efluente despejado no esgoto.

Nesta unidade fabril de produção de rolhas naturais, considerou-se que a água consumida é totalmente usada no processo de Lavação e que a água utilizada pelas outras operações (Desodorização e Maquilhagem) é desprezável. Assim, sendo o efluente libertado totalmente gerado pela Lavação, a quantidade de água consumida pela empresa vai corresponder naturalmente à quantidade de efluente produzido pela fábrica.

No que concerne à Desodorização (processo Innocork®), esta operação utiliza gás natural como combustível para a produção de vapor e aquecimento do ar. Deste modo, é gerada uma corrente gasosa de limpeza que contém alguns compostos orgânicos voláteis e que posteriormente é emitida para a atmosfera. Quanto à operação de Maquilhagem (ou Coloração), embora sejam usados revestimentos pigmentados de base aquosa, todo o produto aplicado fica distribuído (por coalescência das gotículas da emulsão) na superfície das rolhas, não havendo geração de efluentes ou emissões para a água.

Assim, a inventariação de todas as entradas, referentes aos consumos de materiais e energia, foi resultado de informação empresarial cedida pela unidade industrial de Produção de rolhas naturais da Cork Supply Portugal S.A., situada em São Paio de Oleiros. Os dados que dizem respeito às características do efluente e à quantidade de lamas geradas são igualmente provenientes da empresa. Já as emissões gasosas associadas ao consumo de gás natural e eletricidade, bem como os impactes ambientais associados ao tratamento do efluente, à deposição das lamas em aterro e à utilização de todos os reagentes inventariados foram usadas as bases de dados do SimaPro. No entanto, para alguns dos reagentes usados não foi possível identificar uma base de dados apropriada. Inclui-se aqui o Ácido Sulfâmico, o Sulfossucinato de éter monolauril dissódico e a Enzima catalisadora de H_2O_2 (peroxidase). Para estes, não foram encontradas informações na bibliografia nem nas bases de dados do software que permitam avaliar os impactes ambientais, sendo por isso excluídos deste estudo. Apesar disso, estes reagentes foram referenciados no inventário, ainda que não tenham contribuído para os resultados da avaliação ambiental realizada. Por fim, é importante salientar que o pó de cortiça e as rolhas com defeitos (subprodutos) inventariados são apenas incluídos nos balanços de massa, não sendo contabilizados para a avaliação de impactes ambientais. O pó de cortiça pode

ser aproveitado para queima e produção de calor em caldeiras, enquanto que as rolhas defeituosas podem ser encaminhadas para a indústria de aglomerados.

A Tabela 10 resume então todas as entradas e saídas de materiais e energia na etapa de Produção da rolha de cortiça natural. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base no balanço de massa apresentado anteriormente (Figura 29).

Tabela 7. Inventário da etapa de Produção das rolhas de cortiça natural, expresso em função da unidade funcional

Input/Output	Quantidade	Unidade
Input		
Cortiça trabalhada rolhável ¹	23,0	kg
Água do poço	0,0200	m ³
Bases de dados:		
Óleo lubrificante ²	0,0308	kg
Peróxido de Hidrogénio ³	0,8424	kg
Emulsão de Copolímero Vinil-acrílico (Tinta branca) ³	0,0147	kg
Hidróxido de Sódio ³	0,1144	kg
Silicatos de Sódio ³	0,0899	kg
Hydrogencarbonato de Amónio (Sais de Amónio) ³	0,0937	kg
Ácido Sulfâmico ³	0,0453	kg
Sulfossuccinato de Éter Monolauril Dissódico ³	0,0190	kg
Enzima catalisadora de H ₂ O ₂ ³	0,0011	kg
Revestimento de base aquosa ³	0,1580	kg
Alcool Etilico ³	0,0495	kg
Gás Natural ⁴	7,1982	kWh
Energia Elétrica	4,3038	kWh
Output		
1000 rolhas de cortiça natural (UF)	3,6	kg
Apara	16,1	kg
Apara Especial	0,7	kg
Água ⁵	1,6	kg
Pó de cortiça ⁶	0,4	kg
Rolhas com defeitos ⁶	0,6	kg
Tratamentos aplicados:		

Tratamento químico do efluente da Lavação	0,0200	m ³
Deposição em aterro das lamas geradas na ETAR	0,0463	kg
Emissões para a água:⁷		
CBO ₅ (Carência Bioquímica de Oxigénio) (450 mg/L)	9,00E3	mg
CQO (Carência Química de Oxigénio) (650 mg/L)	1,30E4	mg
Fenóis (0,1 mg/L)	2,00	mg
Sólidos Suspensos Totais (25 mg/L)	500	mg

1. Cortiça trabalhada rolhável, selecionada na operação de Traçamento.
2. Consumo de óleo lubrificante utilizado nas operações de Rabaneação e de Brocagem das rolhas.
3. Utilização de reagentes químicos nos processos de Lavação, Desodorização (Innocork®) e Revestimento (ou Maquilhagem) das rolhas.
4. Consumo de Gás Natural, em caldeiras para aquecimento de água e nos processos de secagem das rolhas, e suas emissões.
5. Água gerada nos processos de secagem das rolhas, totalmente vaporizada; foi também desconsiderada da avaliação de impactes ambientais e apenas contabilizada nos balanços de massa.
6. Todos os subprodutos gerados foram desconsiderados da avaliação de impactes ambientais e apenas incluídos nos balanços de massa. O pó de cortiça pode ser aproveitado para queima e produção de calor em caldeiras, enquanto que as rolhas defeituosas podem ser encaminhadas para a indústria de aglomerados.
7. Emissões para a água associadas ao efluente gerado no processo de Lavação, já tratado pela ETAR da empresa, que posteriormente é despejado no esgoto e tratado pela ETAR municipal.

4.3.3.2 Produção da rolha de cortiça técnica

Na etapa de Produção da rolha de cortiça técnica, tal como na rolha natural, predominam os consumos de energia elétrica associados ao funcionamento de todas as máquinas. Nesta etapa, para além do consumo de energia elétrica por parte da Cork Supply, foi ainda considerado o consumo de eletricidade associado à moagem (trituração) da matéria-prima usada na produção da rolha técnica (Refugo, Aparas e Aparas Especial) pela empresa prestadora do serviço. Ao longo desta etapa há também uma elevada dependência de Gás Natural, nas operações de Desinfecção, Secagem, Aglomeração e Lavação. A combustão do Gás Natural permite a produção de calor e aquecimento de água, em caldeiras, e do ar insuflado nas estufas.

A Desinfecção consiste num processo de extração das moléculas de TCA por vapor (destilação por vapor) recorrendo a um sistema no qual é injetado continuamente vapor e ar quente a temperatura controlada. Deste modo, neste processo existem consumos de eletricidade, gás natural e água, que é totalmente vaporizada.

A operação de Mistura e Aglomeração do corpo das rolhas, envolve a mistura dos constituintes que formam a rolha e, está associado um elevado consumo de eletricidade e de gás natural utilizado para o aquecimento do forno. São vários os compostos usados na produção da rolha, como por exemplo, Óleo Parafínico, as Microesferas expansivas e a cola aglutinante.

No que concerne à Lavação aplicada às rolhas técnicas, constatou-se que é um processo comparativamente menos poluente do que a Lavação da rolha natural. As rolhas naturais, por serem brocadas diretamente de pranchas de cortiça, exigem uma desinfecção mais eficaz pelo facto de conterem maior quantidade de microrganismos. Por este motivo, e aliado ao facto de as rolhas técnicas serem formadas por granulado já desinfetado, esta operação utiliza quantidades superiores de produtos de lavação para as rolhas naturais quando comparado com as rolhas técnicas. Assim, a Lavação aplicada a estas rolhas é realizada com quantidades de água bastante reduzidas e recorrendo apenas a três reagentes químicos. Tal como na rolha natural, o efluente é encaminhado para a ETAR da empresa antes de ser despejado no coletor municipal e o tratamento aplicado funciona à base de processos químicos de coagulação, floculação e decantação. As lamas geradas, também contabilizadas neste estudo, são encaminhadas para um aterro onde são depositadas. As características do efluente à saída do tratamento realizado pela empresa são apresentadas na Tabela 8, sendo que com base nesses valores foram calculadas as emissões para a água associadas ao efluente despejado no esgoto.

Nesta unidade fabril, a água consumida é proveniente do poço e é repartida pelos processos de Desinfecção do granulado e Lavação das rolhas. No entanto, a água utilizada na Desinfecção é totalmente vaporizada e como tal, o efluente tratado pela ETAR da empresa é totalmente proveniente do processo de Lavação. Esta é a razão pela qual existe uma grande discrepância entre os valores de consumo de água da empresa e os de efluente tratado que é despejado e encaminhado para a ETAR municipal.

Assim, a inventariação de todas as entradas, referentes aos consumos de materiais e energia, foi resultado de informação empresarial cedida pela unidade industrial de Produção de rolhas técnicas da Cork Supply Portugal S.A., situada em São João de Ver. Os dados que dizem respeito às características do efluente e à quantidade de lamas geradas são igualmente provenientes da empresa. Já as emissões gasosas associadas ao consumo de gás natural e eletricidade, bem como os impactes ambientais associados ao tratamento do efluente, à deposição das lamas em aterro e à utilização de todos os reagentes inventariados foram

estimados pelas bases de dados do SimaPro. No caso da rolha técnica estudada, apenas para o Ácido Sulfâmico não foram encontradas informações na bibliografia e nas bases de dados do software que permitam avaliar os impactes ambientais a ele associados. Como tal, este reagente, utilizado na Lavação das rolhas, foi referenciado no inventário, ainda que não tenha contribuído para os resultados da avaliação ambiental realizada. Por fim, é importante salientar que os subprodutos inventariados são apenas incluídos nos balanços de massa, não sendo contabilizados para a avaliação de impactes ambientais.

A Tabela 8 resume então todas as entradas e saídas de materiais e energia na etapa de Produção da rolha de cortiça técnica. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base no balanço de massa apresentado anteriormente (Figura 30).

Tabela 8. Inventário da etapa de Produção das rolhas de cortiça técnicas, expresso em função da unidade funcional

Input/Output	Quantidade	Unidade
Input		
Refugo, Aparas e Aparas Especiais ¹	14,8	kg
Água do poço	0,0355	m ³
Bases de dados:		
Óleo Parafínico ²	0,1255	kg
Microesferas expansivas ²	0,1609	kg
Cola Aglutinante ²	1,6119	kg
Hidrogenocarbonato de Amónio (Sais de Amónio) ³	0,0895	kg
Peróxido de Hidrogénio ³	0,0181	kg
Ácido Sulfâmico ³	0,1587	kg
Gás Natural ⁴	33,6608	kWh
Energia Elétrica consumida pelo Prestador	7,67E-3	kWh
Energia Elétrica consumida pela Cork Supply	12,0731	kWh
Output		
Perdas no Prestador ⁵	8,1	kg
Granulado de outras dimensões ⁵	0,8	kg
Pó e Granulado fraco ⁵	0,4	kg
Perdas na Remoagem da CSP ⁵	0,5	kg
Granulado nas rolhas com defeito ^{5, 6}	0,1	kg

(Rolhas com defeito) ⁷	(~0,1)	kg
Granulado nas poeiras ^{5, 6}	0,9	kg
(Poeiras) ⁷	(1,2)	kg
Granulado nas 1000 rolhas de cortiça técnicas (UF) ⁶	4,0	kg
(1000 rolhas de cortiça técnicas (UF)) ⁷	(5,5)	kg
Tratamentos aplicados:		
Tratamento químico do efluente da Lavação	3,33E-4	m ³
Deposição em aterro das lamas geradas na ETAR	0,0152	kg
Emissões para a água:⁸		
Sólidos Suspensos Totais (64 mg/L)	21,3	mg
CQO (Carência Química de Oxigénio) (290 mg/L)	96,6	mg
CBO ₅ (Carência Bioquímica de Oxigénio) (38 mg/L)	12,7	mg
Fenóis (0,36 mg/L)	0,12	mg
Cloretos (128 mg/L)	42,6	mg

1. Subprodutos resultantes das etapas de Preparação da cortiça e da Produção das rolhas naturais, que depois de moídos constituem a matéria-prima das rolhas técnicas; o granulado produzido representa 72,63% das rolhas.
2. Utilização dos constituintes das rolhas técnicas (Óleo parafínico 1,81%, Microesferas expansivas 2,32% e Cola aglutinante 23,24%).
3. Utilização de reagentes químicos no processo de Lavação das rolhas.
4. Consumo de Gás Natural, em caldeiras para aquecimento de água e nos processos de secagem das rolhas, e suas emissões.
5. Todos os subprodutos gerados foram desconsiderados da avaliação de impactes ambientais e apenas incluídos nos balanços de massa.
6. Apenas está contabilizada a massa do granulado que constitui as 1000 rolhas técnicas, as poeiras e as rolhas com defeito, o que representa cerca de 72,63% da massa total.
7. Massa total das rolhas e das poeiras com a contabilização dos outros constituintes (Óleo parafínico, Microesferas e Cola aglutinante).
8. Emissões para a água associadas ao efluente gerado no processo de Lavação, já tratado pela ETAR da empresa, que posteriormente é despejado no esgoto e tratado pela ETAR municipal.

4.3.4 ACABAMENTO

Nesta secção constam os inventários que dizem respeito às etapas de Acabamento Final da rolha de cortiça natural e da rolha de cortiça técnica. Neste caso, embora a cadeia processual de ambas as rolhas seja bastante semelhante, existem algumas disparidades nomeadamente no que toca aos produtos utilizados no Tratamento de superfície. Assim, optou-se por separar os dois

inventários, o que vai possibilitar posteriormente a análise comparativa entre os impactes ambientais associados a cada uma das rolhas nesta etapa.

4.3.4.1 Acabamento Final da rolha de cortiça natural

Na etapa de Acabamento Final da rolha de cortiça natural predominam os consumos de energia elétrica associados não só ao funcionamento de todas as máquinas, como também para a produção de ar comprimido bastante utilizado no Despoeiramento ou na injeção de água na Humidificação e de silicone e parafina no Tratamento de superfície. A água municipal utilizada nesta etapa é fundamentalmente usada na operação de Humidificação. De facto, esta unidade fabril de Acabamentos das rolhas, contrariamente às outras unidades, não possui furo para captação de água.

Quanto aos produtos utilizados nesta etapa, nomeadamente a tinta do processo de Marcação e a Parafina e o Silicone do processo de Tratamento de superfície, são na totalidade reticulados na superfície das rolhas. De salientar ainda que, já no fim do processo, na operação de Embalamento é injetado Dióxido de Enxofre para prevenir a contaminação das rolhas enquanto estas são transportadas para o cliente engarrafador.

Assim, a inventariação de todas as entradas, referentes aos consumos de materiais e energia, foi resultado de informação empresarial cedida pela unidade industrial de Acabamento Final das rolhas da Cork Supply Portugal S.A., situada em Rio Meão. Já as emissões gasosas associadas ao consumo de eletricidade, bem como os impactes ambientais associados à utilização de todos os produtos inventariados foram estimados usando as bases de dados do SimaPro.

A Tabela 9 resume então todas as entradas e saídas de materiais e energia na etapa de Acabamento Final da rolha de cortiça natural. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base no balanço de massa apresentado anteriormente (Figura 29).

Tabela 9. Inventário da etapa de Acabamento Final expresso em função da unidade funcional, referente à rolha de cortiça natural

Input/Output	Quantidade	Unidade
Input		
1000 rolhas de cortiça natural (UF) ¹	3,6	kg
Bases de dados:		
Tinta da Marcação ²	0,0013	kg
Água da companhia ³	0,2787	kg
Silicone ⁴	0,0150	kg
Parafina ⁴	0,0120	kg
Dióxido de Enxofre ⁵	0,0005	kg
Energia Elétrica	1,2567	kWh
Output		
1000 rolhas de cortiça natural (UF) ⁶	3,6	kg

1. Rolhas de cortiça natural sem Acabamento Final.
2. Utilização da tinta no processo de Marcação.
3. Utilização de água municipal no processo de Humidificação das rolhas.
4. Utilização de Silicone e Parafina no processo de Tratamento de superfície.
5. Utilização de Dióxido de Enxofre no processo de Embalamento.
6. Rolhas de cortiça natural após a etapa de Acabamento Final.

4.3.4.2 Acabamento Final da rolha de cortiça técnica

A etapa de Acabamento Final da rolha de cortiça técnica é bastante semelhante à da rolha natural. Na verdade, estes dois processos distinguem-se principalmente pela exclusão das operações de Despoeiramento e Humidificação do processo da rolha técnica. Este vedante, por ser um produto originado a partir da técnica de aglomeração, não necessita de ser sujeito a estas operações. Neste tipo de rolhas apenas é aplicado Elastómero de Silicone no processo de Tratamento de superfície.

Deste modo, também neste processo predominam os consumos de energia elétrica associados ao funcionamento de todas as máquinas. Quanto aos produtos utilizados nesta etapa, nomeadamente a tinta do processo de Marcação e o Elastómero de Silicone do processo de Tratamento de superfície, são na totalidade reticulados na superfície das rolhas. De salientar

ainda que, já no fim do processo, na operação de Embalamento é igualmente injetado Dióxido de Enxofre como inibidor do crescimento microbológico nas rolhas embaladas.

Assim, a inventariação de todas as entradas, referentes aos consumos de materiais e energia, foi resultado de informação empresarial cedida pela unidade industrial de Acabamento Final das rolhas da Cork Supply Portugal S.A., situada em Rio Meão. Já as emissões gasosas associadas ao consumo de eletricidade, bem como os impactes ambientais associados à utilização de todos os produtos inventariados foram estimados usando as bases de dados do SimaPro.

A Tabela 10 resume então todas as entradas e saídas de materiais e energia na etapa de Acabamento Final da rolha de cortiça técnica. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base no balanço de massa apresentado anteriormente (Figura 30).

Tabela 10. Inventário da etapa de Acabamento Final expresso em função da unidade funcional, referente à rolha de cortiça técnica

Input/Output	Quantidade	Unidade
Input		
1000 rolhas de cortiça técnicas (UF) ¹	5,5	kg
Bases de dados:		
Tinta da Marcação ²	0,0013	kg
Elastómero de Silicone ³	0,0150	kg
Dióxido de Enxofre ⁴	0,0005	kg
Energia Elétrica	1,2567	kWh
Output		
1000 rolhas de cortiça técnicas (UF) ⁵	5,5	kg

1. Rolhas de cortiça técnicas sem Acabamento Final.
2. Utilização da tinta no processo de Marcação.
3. Utilização de Elastómero de Silicone no processo de Tratamento de superfície.
4. Utilização de Dióxido de Enxofre no processo de Embalamento.
5. Rolhas de cortiça técnicas após a etapa de Acabamento Final.

4.3.5 TRANSPORTES

Neste processo são usados empilhadores elétricos para a movimentação de cargas no interior das empresas (Transporte Interno). Assim, este consumo elétrico foi incluído no consumo geral de eletricidade referente a cada unidade fabril e foi analisado em conjunto com as etapas de Preparação da cortiça, Produção da rolha de cortiça natural, Produção da rolha de cortiça técnica e Acabamento Final, apresentadas anteriormente.

Quanto aos transportes entre as diferentes unidades fabris, optou-se por fazer a distinção entre o processo das rolhas naturais e o das técnicas, de modo a que posteriormente seja possível realizar-se a análise comparativa de impactes ambientais entre as duas. A Figura 28 demonstra quais os transportes entre unidades fabris, levados a cabo ao longo do ciclo de vida das rolhas em estudo, e qual a quilometragem associada a cada um deles. Assim, para o processo da rolha natural estão associados os transportes da cortiça extraída dos Montados para a unidade de Preparação da cortiça (60 km), da cortiça trabalhada da unidade de Preparação da cortiça para a unidade de Produção da rolha de cortiça natural (310 km) e das rolhas da unidade de Produção da rolha de cortiça natural para a unidade de Acabamentos (6 km). Para o processo da rolha técnica estão associados os transportes da cortiça extraída dos Montados para a unidade de Preparação da cortiça (60 km), do Refúgio da unidade de Preparação da cortiça para o Prestador responsável pela moagem (309 km), das Aparas e Aparas Especiais da unidade de Produção da rolha de cortiça natural para o Prestador (4 km), do granulado do Prestador para a unidade de Produção da rolha de cortiça técnica (6 km) e das rolhas da unidade de Produção da rolha de cortiça técnica para a unidade de Acabamentos (4 km). Veja-se que apenas os transportes da cortiça extraída dos Montados para a unidade de Preparação da cortiça, e da cortiça trabalhada e do Refúgio da unidade de Preparação da cortiça, localizada no Sul do país, para as unidades de Produção das rolhas naturais e técnicas, situadas no Norte do país, se irão traduzir em impactes ambientais consideráveis. Como tal, todos os outros transportes entre unidades fabris, cujos valores se vão traduzir em resultados sem expressão, foram desconsiderados do estudo.

No que concerne ao transporte das rolhas para os clientes engarrafadores, este é realizado por via terrestre (camião), aérea (avião) ou marítima (porta-contentores) e o principal consumo deste processo é o combustível ao qual vêm associadas emissões resultantes da sua combustão. A Tabela A1 (ver Anexo A), contruída com base em dados fornecidos pela Cork Supply referentes ao ano de 2018, apresenta a distribuição da massa correspondente a 1000 rolhas,

naturais e técnicas, pelos cinco Países mais consumidores das rolhas produzidas pela empresa, e por meio de transporte utilizado. Esta informação permitirá reportar os dados inventariados à Unidade Funcional do presente trabalho.

A Tabela A1 (ver Anexo A) apresenta ainda a quilometragem percorrida por cada meio de transporte para cada destino. Em relação ao transporte aéreo foi sempre incluído o transporte terrestre desde as instalações da Cork Supply até ao Aeroporto Sá Carneiro, equivalente a 40 km. No caso do transporte para os EUA por contentores, foi necessário incluir também o transporte terrestre das instalações da empresa até ao Porto Leixões (40 km) e o transporte por linhas férreas do Porto Leixões até ao Porto de Sines (400 km). No caso do transporte para os EUA por fretes aéreos, a distância que vem na Tabela 5 resulta do somatório do transporte Aeroporto Sá Carneiro – Aeroporto de Londres (1321 km) com Aeroporto de Londres – Aeroporto de S. Francisco (8619 km). Por fim incluiu-se ainda o transporte terrestre desde o Aeroporto e do Porto Marítimo dos EUA até ao distribuidor, pelo facto de ainda representar uma distância considerável (80 km).

Assim, a Tabela 11 representa a inventariação dos consumos de combustível associados aos diferentes tipos de transporte da rolha de cortiça natural e da técnica. A unidade utilizada é a tkm, onde é multiplicada a massa das rolhas enviadas, em toneladas, pela distância percorrida pelo meio de transporte, em quilómetros, sendo que ambos os dados foram fornecidos pela empresa Cork Supply, SA. Já as emissões relativas à combustão do combustível consumido foram estimadas pelas bases de dados do SimaPro. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base nos balanços de massa apresentados anteriormente (Figuras 29 e 30).

Tabela 11. Inventário da etapa dos Transportes expresso em função da unidade funcional, referente às duas rolhas de cortiça em estudo.

	Rolha Natural	Rolha Técnica	
Input/Output	Quantidade		Unidade
Input			
Bases de dados:			
Transporte da cortiça extraída do Alentejo para o Montijo (Terrestre)	2,12	1,07	tkm
Transporte da cortiça trabalhada rolhável/Refugio do Montijo para S. Paio de Oleiros/S. João de Vêr (Terrestre)	7,13	1,95	tkm
Distribuição para EUA			
Terrestre	0,05	0,08	tkm
Férreo	0,55	0,84	tkm
Marítimo	23,90	36,60	tkm
Terrestre	0,11	0,17	tkm
Distribuição para França			
Terrestre	4,40E-5	6,72E-5	tkm
Aéreo Intracontinental	1,73E-3	2,64E-3	tkm
Distribuição para Itália			
Terrestre	8,84E-5	1,35E-4	tkm
Aéreo Intracontinental	5,63E-3	8,61E-3	tkm
Distribuição para EUA			
Terrestre	0,01	0,02	tkm
Aéreo Intracontinental	0,36	0,55	tkm
Aéreo Intercontinental	2,33	3,56	tkm
Terrestre	0,02	0,03	tkm
Distribuição para França (Terrestre)	0,51	0,78	tkm
Distribuição para Itália (Terrestre)	0,73	1,12	tkm
Distribuição para Portugal (Terrestre)	0,14	0,22	tkm
Distribuição para Espanha (Terrestre)	0,51	0,78	tkm

4.3.6 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 das rolhas de cortiça são na atualidade comuns às opções existentes para a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) de uma determinada região ou país, que passam normalmente pela Deposição em aterro, Incineração e Reciclagem e Compostagem. Porém, atualmente a via da reciclagem para as rolhas de cortiça carece ainda de desenvolvimento.

Como tal, este processo foi desconsiderado do estudo e, com base nos dados da Figura 25 construíram-se as Tabelas B1 e B2 (ver Anexo B), onde é sumariada a informação sobre a massa das rolhas enviada para as diferentes opções de final de vida, incluindo a deposição em aterro e a incineração para cada um dos países mais consumidores das rolhas produzidas pela Cork Supply. Assim, procedeu-se à inventariação dos dados referentes ao Fim de Vida de ambas as rolhas de cortiça estudadas (Tabela 12) e recorreu-se às bases de dados do SimaPro para a avaliação dos impactos ambientais associados à Deposição em aterro sanitário e Incineração de RSUs. Todos os dados deste inventário foram então adaptados e reportados à Unidade Funcional com base nos balanços de massa apresentados anteriormente (Figuras 29 e 30).[36]

Tabela 12. Inventário da etapa de Fim de Vida expresso em função da unidade funcional, referente às rolhas de cortiça em estudo.

	Rolha Natural	Rolha Técnica	
Input/Output	Quantidade		Unidade
Input			
1000 rolhas de cortiça natural (UF)	3,6	5,5	kg
Output			
Opções de Fim de Vida:			
Deposição em aterro	2,7106	4,1411	kg
Incineração	0,8894	1,3589	kg

4.4 AVALIAÇÃO DE IMPACTES AMBIENTAIS DO CICLO DE VIDA (AICV)

Nesta secção são quantificados os impactes ambientais associados a ambas as rolhas de cortiça estudadas tendo por base os dados contemplados no inventário. O método de avaliação de impactes ambientais utilizado na presente dissertação foi o CML-IA baseline (versão 3.04). De facto, optou-se por este método pelo facto de ser o mais usado nos trabalhos disponíveis na bibliografia, o que permite a análise comparativa de resultados entre este estudo e a bibliografia.[10]

Neste caso optou-se por conduzir o estudo tendo em consideração apenas as etapas obrigatórias (Classificação e Caracterização), com recurso ao software SimaPro que veio facilitar a obtenção dos resultados propostos para este trabalho após estas etapas. Estes resultados permitem conhecer quais as contribuições de todos os poluentes e de cada etapa, associados ao ciclo de vida de ambas as rolhas, para cada categoria de impacte ambiental.

Assim, ao longo desta secção são apresentados e discutidos os resultados obtidos para a avaliação comparativa das duas rolhas e avaliação dos impactes ambientais associados a cada uma delas. As categorias de impacte consideradas neste estudo, de acordo com o método CML, somam onze e são: Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (GWP 100a), Depleção da camada de ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade em água doce, Ecotoxicidade marinha, Ecotoxicidade terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização.

4.4.1 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DAS ROLHAS

A Figura 31 e a Tabela 13 apresentam os resultados obtidos no SimaPro para a avaliação comparativa dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida das duas rolhas de cortiça estudadas. Com base nestes resultados, pode-se aferir que, tal como expectável, a rolha técnica apresenta impactes ambientais superiores para a maior parte das categorias de impacte, ou seja para oito das onze categorias consideradas, sendo elas a Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Aquecimento Global (GWP 100a), Depleção da camada de ozono, Toxicidade Humana, Ecotoxicidade terrestre, Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização. Por outro lado, a rolha natural apresentou maiores contribuições apenas para três das onze categorias: Depleção Abiótica, Ecotoxicidade em água doce e Ecotoxicidade marinha.

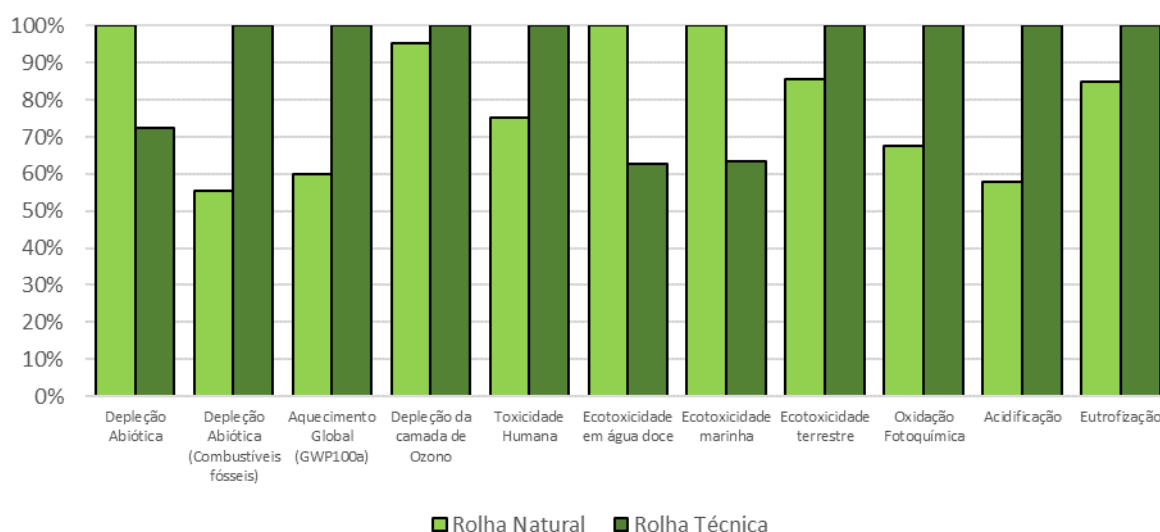


Figura 31. Comparação gráfica das contribuições para cada categoria de impacto, referentes a cada uma das rolhas em estudo (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Tabela 13. Contribuições para cada categoria de impacto, referentes a cada uma das rolhas em estudo (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Categoria de impacto	Unidade	Rolha Natural	Rolha Técnica
Depleção Abiótica	kg Sb eq	1,96E-05	1,42E-05
Depleção Abiótica (Combustíveis fósseis)	MJ	293,2256	528,4972
Aquecimento Global (GWP100a)	kg CO ₂ eq	20,5354	34,3013
Depleção da camada de Ozono	kg CFC-11 eq	2,95E-06	3,10E-06
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,0808	8,0686
Ecotoxicidade em água doce	kg 1,4-DB eq	4,7066	2,9532
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	24863,9180	15768,8530
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,0289	0,0337
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,0054	0,0079
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,0854	0,1473
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,0295	0,0348

Em seguida, na Tabela 14, é apresentada a avaliação comparativa das contribuições das rolhas estudadas para cada categoria de impacto. Nesta tabela, são discutidos os motivos que contribuem para que, em cada categoria de impacto, uma rolha apresente valores superiores em relação à outra.

Tabela 14. Avaliação comparativa das contribuições das rolhas estudadas para cada categoria de impacto.

Categoria de impacto ambiental	Contribuições das rolhas estudadas
Contribuições superiores da rolha natural	
- Ecotoxicidade em água doce - Ecotoxicidade marinha	Os valores obtidos para a rolha técnica foram 63% do obtido para a rolha natural em ambas as categorias de impacto. Neste processo, os <u>reagentes de Lavagem</u> (etapa de produção da rolha) são os produtos utilizados com maior toxicidade. Como é sabido, a Lavagem das rolhas naturais é uma operação bastante mais agressiva e com elevados consumos de reagentes, principalmente de <u>Peróxido de Hidrogénio</u> , quando comparado com o processo da rolha técnica. Assim, é legítimo que os resultados para esta categoria de impacto sejam superiores para a rolha natural em relação à rolha técnica.
- Depleção Abiótica	O valor obtido para a rolha técnica foi 72% do obtido para a rolha natural. Neste processo, os reagentes químicos, como <u>fertilizantes</u> (etapa de gestão florestal) e <u>produtos de Lavagem</u> (etapa de produção da rolha), são os que contribuem mais para esta categoria pelo facto de necessitarem de minerais, provenientes do meio abiótico, para serem produzidos. Os resultados obtidos para a rolha natural são superiores, na medida em que a operação de Lavagem é bastante mais agressiva, comparativamente à da rolha técnica, e com consumos de reagentes superiores, principalmente de peróxido de hidrogénio. Para além disso, para se fabricarem rolhas naturais são necessárias quantidades de cortiça superiores, o que acarreta igualmente consumos de fertilizantes bastante superiores quando comparado com a rolha técnica.
Contribuições superiores da rolha técnica	
- Depleção Abiótica (combustíveis fósseis) (DA) - Acidificação (A) - Aquecimento Global (AG) - Oxidação Fotoquímica (OF) - Toxicidade Humana (TH)	Estas categorias de impacto foram as que registaram maior superioridade de valores obtidos para a rolha técnica comparativamente à rolha natural (DA – 56%; A – 58%; AG – 60%; OF – 68%; TH – 75%). As contribuições que mais influenciam estas categorias estão relacionadas, principalmente, com o consumo de <u>energia elétrica</u> , <u>gás natural</u> e de <u>combustível</u> . Dado que o consumo de combustível está associado à etapa de Distribuição das rolhas e que os destinos e meios de transporte utilizados são os mesmos para ambas as rolhas, não é relevante comparar-se os resultados referentes a esta etapa. Assim, para esta categoria os impactos ambientais associados à rolha técnica são bastante superiores pelo facto de os consumos de gás natural e de eletricidade associados a este vedante serem excessivamente superiores, principalmente na etapa de Produção das rolhas.
- Eutrofização	O valor obtido para a rolha natural foi 85% do obtido para a rolha técnica. Os resultados obtidos no SimaPro indicam que a <u>deposição das rolhas em aterro</u> são o principal emissor de nutrientes para o meio ambiente e, como a massa das rolhas técnicas é superior à das rolhas naturais, é compreensível que os impactos associados às técnicas sejam ligeiramente superiores. Porém é importante salientar que neste estudo recorreu-se a uma base de dados que considera a deposição em aterro de resíduos sólidos urbanos, e como tal a quantidade de nutrientes gerada é naturalmente superior, o que levanta alguma incerteza nos resultados obtidos para esta categoria de impacto.
- Ecotoxicidade Terrestre	O valor obtido para a rolha natural foi 86% do obtido para a rolha técnica. Neste processo, os maiores responsáveis pela contaminação do meio terrestre são as substâncias originadas na produção dos recursos consumidos. No caso da rolha técnica, os maiores contaminantes são as substâncias geradas aquando a produção da <u>cola aglutinante</u> e da <u>energia elétrica</u> consumida, principalmente na etapa de Produção da rolha. Já para a rolha natural, os maiores contaminantes são as substâncias geradas pela <u>utilização das motosserras e dos produtos envolvidos</u> (etapa de gestão florestal), bem como as substâncias associadas à produção de energia elétrica. Assim, a diferença no consumo energético justifica o impacto ambiental superior para a rolha técnica no que diz respeito a esta categoria.

- Depleção da camada de ozono	O valor obtido para a rolha natural foi 95% do obtido para a rolha técnica, o que se traduz numa diferença mínima. As principais fontes de emissão de gases CFC neste processo são as emissões associadas ao consumo de <u>energia elétrica</u>, <u>gás natural</u>, <u>gás propano</u> e de <u>combustível</u>. Dado que o consumo de combustível está associado à etapa de Distribuição das rolhas e que os destinos e meios de transporte utilizados são os mesmos, não é relevante compararem-se as emissões associadas à combustão de combustível nesta etapa. Como é sabido, o consumo de gás natural e de eletricidade associados à produção da rolha técnica são bastante elevados. No entanto, no processo da rolha natural houve uma elevada contribuição das etapas de Gestão Florestal e Preparação da cortiça para esta categoria de impacto, que se deve aos elevados consumos de Diesel na maquinaria agrícola e de Gás Propano nas operações de Cozedura/Escalda da cortiça. Por estas razões os resultados obtidos para as duas rolhas são aproximados.
---	---

4.4.2 RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE IMPACTES

Nesta secção vão ser discutidos os resultados obtidos para cada rolha separadamente, permitindo uma avaliação mais aprofundada dos impactes ambientais associados a cada uma das etapas do ciclo de vida das rolhas de cortiça.

4.4.2.1 Rolha de Cortiça Natural

Com base nos resultados obtidos no SimaPro (Figura 32, com apresentação dos valores absolutos para cada categoria na Tabela 15), foi possível proceder-se à avaliação dos impactes ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida da rolha de cortiça natural.

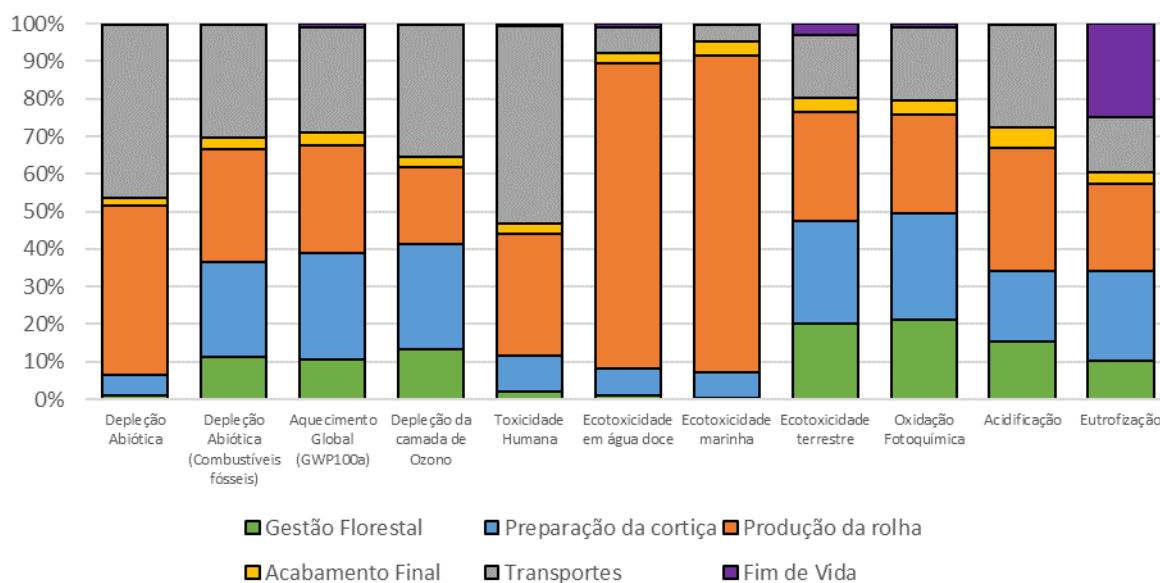


Figura 32. Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da rolha natural usando a metodologia CML-IA baseline v3.04 (EU25) (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Tabela 15. Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da rolha natural e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Categoria de impacte	Unidade	Total	Gestão Florestal	Preparação da cortiça	Produção	Acabamento	Transportes	Fim de Vida
Depleção Abiótica	kg Sb eq	1,96E-05	1,85E-07	1,12E-06	8,83E-06	3,58E-07	9,07E-06	5,86E-08
Depleção Abiótica (CF)	MJ	293,2256	32,7611	74,7074	88,0260	9,0982	87,8245	0,8083
Aquecimento Global	kg CO ₂ eq	20,5354	2,1657	5,8375	5,8926	0,7072	5,7193	0,2131
Depl. da camada de Ozono	kg CFC-11 eq	2,95E-06	3,98E-07	8,25E-07	5,98E-07	8,07E-08	1,04E-06	8,37E-09
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	6,0808	0,1244	0,5882	1,9737	0,1670	3,1805	0,0472
Ecotoxicidade em água doce	kg 1,4-DB eq	4,7066	0,0551	0,3394	3,8197	0,1307	0,3222	0,0395
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	24864	131	1636	20977	909	1163	49
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,0289	0,0058	0,0079	0,0084	0,0011	0,0048	0,0009
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,0054	0,0011	0,0015	0,0014	0,0002	0,0010	5,50E-05
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,0854	0,0130	0,0162	0,0279	0,0048	0,0230	0,0004
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,0295	0,0030	0,0071	0,0069	0,0008	0,0044	0,0073

A etapa de **Produção da rolha** é a mais nociva para o meio ambiente, sendo a etapa, ou uma das, que apresenta maiores contribuições para grande parte das categorias de impacte (Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis), Aquecimento Global, Ecotoxicidades (Água doce, Marinha e Terrestre), Oxidação Fotoquímica, Acidificação e Eutrofização). As únicas exceções são as categorias de Depleção da camada de ozono e Toxicidade Humana, para as quais a etapa dos Transportes é a mais relevante. Os maiores contribuidores para o impacte na produção das rolhas naturais são os reagentes utilizados na Lavação das rolhas, especialmente o Peróxido de Hidrogénio, que é o principal reagente deste processo. Sendo esta rolha um produto natural, há a necessidade de se executar uma desinfeção eficaz que motiva o consumo de grandes quantidades de reagentes. Assim, a produção e consumo de Peróxido de Hidrogénio são responsáveis por elevadas contribuições para a grande maioria das categorias de impacte. Para além disso, também os consumos de energia elétrica e de Gás Natural, e as emissões resultantes da combustão do mesmo, são bastante preocupantes, do ponto de vista ambiental, para todas as categorias de impacte. O consumo elétrico vem associado a todas as operações realizadas na rolha natural e o Gás Natural é utilizado principalmente no processo de Desodorização (Innocork®), onde é necessário o consumo de gás para a produção de vapor, e de Secagem das rolhas, onde o gás é usado para o aquecimento do ar insuflado na estufa.

A etapa dos **Transportes** é a segunda maior responsável pelos impactes ambientais associados ao ciclo de vida da rolha natural. Esta etapa é a que apresenta maiores contribuições para as categorias de Depleção da camada de ozono e Toxicidade Humana, e é uma das mais relevantes para as categorias de Depleção Abiótica, Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis), Aquecimento Global e Acidificação. É importante salientar que conforme apresentado na Tabela A1 (ver Anexo A), a massa das 1000 rolhas naturais (UF) que são comercializadas foi distribuída pelos diferentes Países destino das rolhas utilizando diferentes meios de transporte utilizados. A distribuição das rolhas para os EUA por meio aéreo representa a operação mais relevante para a maior parte das categorias de impacto analisadas. Segue-se então o transporte da cortiça rolhável desde a unidade fabril de Preparação da cortiça, localizada no Sul do País, até à unidade de Produção das rolhas naturais, localizada no Norte do País. Naturalmente, os impactes ambientais desta etapa vêm em grande parte associados ao consumo de combustível e às emissões resultantes da sua combustão.

A etapa de **Preparação da cortiça** foi uma das que apresentou maiores contribuições para as categorias de impacto de Aquecimento Global, Ecotoxicidade Terrestre, Oxidação Fotoquímica e Eutrofização. As maiores fontes de poluentes nesta etapa são a produção de Gás Propano e as emissões que resultam da combustão do mesmo, seguidos pelo consumo de energia elétrica. Este elevado consumo de ambos é devido às operações de Cozedura/Escalda que, embora sejam fulcrais para o desenvolvimento das propriedades mecânicas da cortiça e para a remoção de substâncias indesejáveis, são responsáveis quase na totalidade pelos impactes ambientais associados a esta etapa. De salientar ainda que existem algumas contribuições, principalmente nas categorias de Ecotoxicidade em água doce e Eutrofização, associadas ao tratamento na ETAR da empresa do efluente proveniente da Cozedura/Escalda, às emissões para a água do efluente e à deposição em aterro das lamas geradas.

As etapas descritas em seguida, a Gestão Florestal, Acabamento Final e Fim de Vida, são as que apresentam menor contribuição relativa para as diferentes categorias de impacto.

A etapa de **Gestão Florestal** apresenta-se como uma das que menos contribui para as categorias de impacto ambiental. A maior fonte de poluentes nesta etapa é o consumo de Diesel em máquinas agrícolas e motosserras, nas operações de Corta-Mato, Gradagem, Poda, Desbaste e Fertilização, e as emissões resultantes da sua combustão do Diesel. São várias as operações realizadas durante os 9 anos necessários para uma nova extração da cortiça. A necessidade de

se repetir frequentemente estas operações acarreta elevados consumos de combustível e, consequentemente, a emissão de elevadas quantidades de gases poluentes.

A etapa de **Acabamento Final** das rolhas apresenta contribuições bastante reduzidas em todas as categorias de impacte, sendo uma das etapas menos preocupantes do ponto de vista ambiental. A maior fonte de poluentes é o consumo de energia elétrica que representa quase a totalidade das contribuições desta etapa para as categorias de impacte. Para além da eletricidade, apenas se destacam os produtos utilizados no Tratamento de superfície, como sejam o Silicone e Parafina, que apresentam alguma relevância para as categorias de Depleção Abiótica e Depleção da camada de ozono.

A etapa de **Fim de Vida** é a menos relevante para todas as categorias de impacte, excetuando na de Eutrofização onde apresenta um contributo relevante. Como foi referido anteriormente, a justificação passa por neste trabalho se ter considerado uma base de dados para a deposição em aterro de resíduos sólidos urbanos, e como tal a quantidade de nutrientes gerada é naturalmente superior. Ainda assim, comparando as duas opções de vida consideradas, a deposição em aterro e a incineração, houve uma maior contribuição da opção aterro para grande parte das categorias de impacte.

4.4.2.2 Rolha de Cortiça Técnica

Com base nos resultados obtidos no SimaPro (Figura 33, com apresentação dos valores absolutos para cada categoria na Tabela 16), foi possível proceder-se à avaliação dos impactes ambientais associados a cada etapa do ciclo de vida da rolha de cortiça técnica. A etapa de Produção da rolha foi a que apresentou maiores contribuições para todas as categorias de impacte, excetuando a da Toxicidade Humana. Para esta categoria a etapa de Transportes e Distribuição das rolhas para o cliente engarrafador apresenta-se como a mais relevante. As etapas de Gestão Florestal, Preparação da cortiça, Acabamento Final e Fim de Vida apresentam contribuições reduzidas para a maior parte das categorias de impacte.

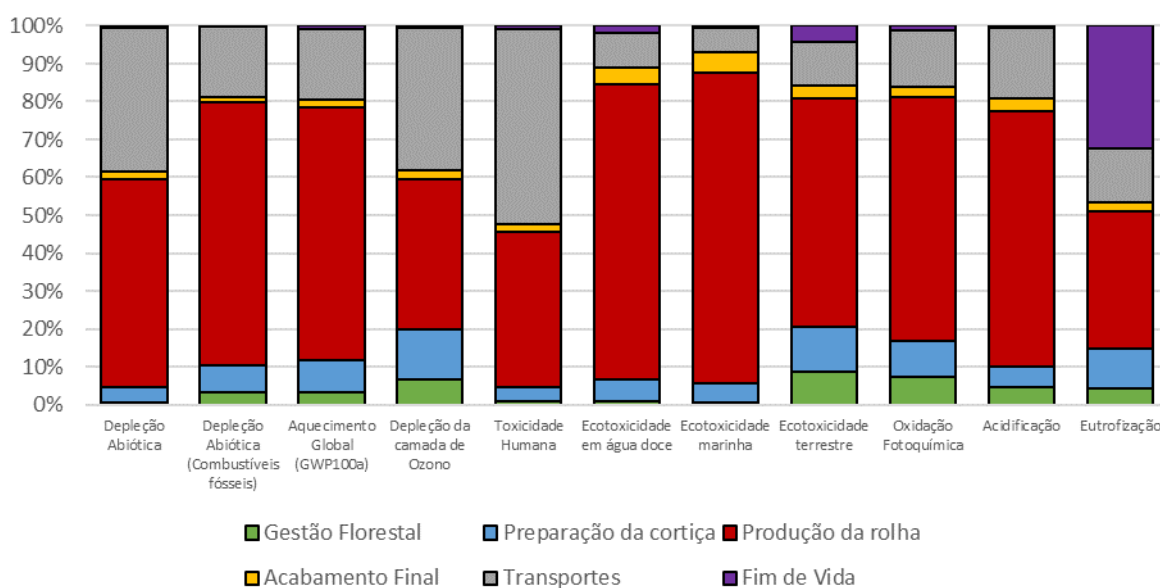


Figura 33. Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da rolha técnica usando a metodologia CML-IA baseline v3.04 (EU25) (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Tabela 16. Impactes ambientais associados ao ciclo de vida da rolha técnica e qual a sua contribuição para cada categoria de impacte (SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017))

Categoria de impacte	Unidade	Total	Gestão Florestal	Preparação da cortiça	Produção	Acabamento	Transportes	Fim de Vida
Depleção Abiótica	kg Sb eq	1,42E-05	9,35E-08	5,65E-07	7,80E-06	3,03E-07	5,36E-06	8,96E-08
Depleção Abiótica (CF)	MJ	528	17	38	367	8	97	1
Aquecimento Global	kg CO ₂ eq	34,3013	1,0965	2,9517	22,8438	0,6996	6,3841	0,3256
Depl. da camada de Ozono	kg CFC-11 eq	3,10E-06	2,02E-07	4,17E-07	1,22E-06	8,03E-08	1,16E-06	1,28E-08
Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq	8,0686	0,0630	0,2974	3,3222	0,1629	4,1511	0,0721
Ecotoxicidade em água doce	kg 1,4-DB eq	2,9532	0,0279	0,1716	2,2971	0,1267	0,2694	0,0604
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	15769	66	827	12897	889	1015	74
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,0337	0,0029	0,0040	0,0203	0,0011	0,0039	0,0014
Oxidação Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0,0079	0,0006	0,0008	0,0051	0,0002	0,0012	8,40E-05
Acidificação	kg SO ₂ eq	0,1473	0,0066	0,0082	0,0994	0,0047	0,0277	0,0006
Eutrofização	kg PO ₄ ³⁻ eq	0,0348	0,0015	0,0036	0,0127	0,0008	0,0049	0,0112

A etapa de **Produção da rolha técnica** é a mais nociva para o meio ambiente, sendo que as suas contribuições para grande parte das categorias de impacto são bastante elevadas. As maiores fontes de poluentes nesta etapa são indubitavelmente os excessivos consumos de energia elétrica e de Gás Natural, e as emissões resultantes da combustão do mesmo. O consumo elétrico vem associado a todas as operações realizadas na rolha técnica, sendo que neste processo é ainda necessário tratar o granulado (Remoagem e Desinfecção) e aplicar os processos de Aglomeração do corpo das rolhas, onde existem elevados consumos de eletricidade. Também para o Gás Natural estão associados elevados consumos, principalmente ao nível do processo de Desinfecção do granulado, onde é necessário o consumo de gás para a produção de vapor, e de Aglomeração, onde o gás desempenha um papel fulcral no aquecimento do forno quente para Aglomeração dos moldes do corpo das rolhas. De salientar ainda a cola utilizada para a aglutinação do granulado, que apresentou alguma relevância para algumas das categorias de impacto, nomeadamente na de Ecotoxicidade Terrestre. Por fim, ainda que reduzidas, existem ainda algumas contribuições associadas aos produtos de Lavação das rolhas e às esferas expansivas incluídas na matriz das rolhas.

As etapas de **Gestão Florestal**, **Preparação da cortiça**, **Transportes** e **Fim de Vida** são comuns às duas rolhas, sendo que os processos são exatamente os mesmos e apenas as contribuições para cada um se fazem variar proporcionalmente. Assim, para estas etapas os processos críticos considerados anteriormente para a rolha natural são os mesmos, embora os valores das suas contribuições variem consoante a quantidade de cortiça em questão. De facto, sendo a quantidade de cortiça necessária para a produção de 1000 rolhas naturais superior à quantidade necessária para a produção de 1000 rolhas técnicas, os valores das contribuições, associadas à rolha natural, para todas as categorias de impacto nas etapas de Gestão Florestal e Preparação da cortiça irão ser igualmente superiores. Pelo contrário, sendo a massa total das 1000 rolhas técnicas superior à massa total das 1000 rolhas naturais, os valores das contribuições, associadas à rolha técnica, para todas as categorias de impacto nas etapas de Transportes e Fim de Vida irão ser igualmente superiores.

A etapa de **Acabamento Final** das rolhas apresenta contribuições bastante reduzidas em todas as categorias de impacto, sendo uma das etapas comparativamente menos relevante do ponto de vista ambiental. A maior fonte de poluentes, tal como foi aferido na rolha natural, é o consumo de energia elétrica que representa quase a totalidade das contribuições desta etapa

para as categorias de impacto. Para além da eletricidade, apenas se destaca o único produto utilizado no Tratamento de superfície, Elastómero de Silicone, que apresenta alguma relevância para as categorias de Depleção Abiótica e Depleção da camada de ozono.

5

CONCLUSÕES, DISCUSSÃO, LIMITAÇÕES E PERSPETIVAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Na presente dissertação foram caracterizados e avaliados os ciclos de vida das rolhas de cortiça (natural e técnica), sendo este produto de elevada importância no contexto empresarial português. Demonstrou-se a relevância do setor corticeiro para a sociedade e para a economia Portuguesa que, para além de criar postos de trabalho nas várias empresas associadas direta ou indiretamente ao setor, representa também um dos setores com maiores receitas e taxas de exportação. Portugal é o país que detém maior área de montado de sobro, o maior produtor mundial de cortiça e o que lidera as exportações mundiais de cortiça. De entre todos os produtos de cortiça exportados, nomeadamente cortiça em cru, produtos de cortiça natural e produtos resultantes da aglomeração de grânulos de cortiça, as rolhas de cortiça são o produto nobre do setor corticeiro. O subsector rolheiro é o que detém maior cota nas exportações e o que acarreta maiores receitas para a economia portuguesa.

Dada a importância das rolhas de cortiça, é interessante avaliar quais as consequências ambientais inerentes à produção das mesmas. Este trabalho tem como principal objetivo a avaliação do impacto ambiental associado aos ciclos de vida das rolhas naturais e das rolhas técnicas mais comercializadas, com consequente análise comparativa dos resultados obtidos. Para o sistema em estudo (e para os dois tipos de rolhas avaliados) foram incluídas as etapas de Gestão Florestal, Preparação da cortiça, Produção, Acabamento, Transportes e Fim de Vida. Seguindo a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), procedeu-se à inventariação dos dados referentes a cada uma das etapas incluídas no sistema com base na identificação e quantificação das emissões de poluentes e consumo de recursos naturais associados. Através do uso do programa informático SimaPro versão 8.5.2 (Pré Consultants, 2017) e da metodologia de avaliação de impactes CML-IA baseline (versão 3.04), foi possível avaliar o potencial impacto ambiental global para onze categorias de impacto.

Concluiu-se que, no geral, a rolha técnica acarreta um impacto para o meio ambiente superior por comparação com a rolha natural, apresentando maiores contribuições para oito das onze

categorias de impacto avaliadas. Concluiu-se ainda que para as etapas de Gestão Florestal e Preparação da cortiça, embora os dados inventariados sejam os mesmos, os valores obtidos para a rolha natural são bastante superiores relativamente aos da rolha técnica pelo facto de serem necessárias maiores quantidades de cortiça para se produzirem 1000 rolhas naturais do que para 1000 rolhas técnicas. Logo, os impactos ambientais associados à rolha natural para estas etapas serão igualmente superiores. A etapa responsável pela superioridade, em termos de carga ambiental, da rolha técnica em relação à natural é a Produção das rolhas, sendo que essa disparidade se deve principalmente à diferença bastante acentuada entre os consumos de eletricidade e gás natural da rolha técnica quando comparada com a natural. Quanto aos transportes, dado que o consumo de combustível está associado à etapa de Distribuição das rolhas e que os destinos e meios de transporte utilizados são os mesmos, não é relevante compararem-se as emissões associadas à combustão do mesmo. Note-se que as diferenças mínimas que existirem devem-se à diferença na massa das duas rolhas. As contribuições para as diferentes categorias de impacto associadas às etapas de Acabamento e Fim de Vida foram bastante reduzidas e não foram determinantes para esta avaliação comparativa.

A avaliação comparativa das duas rolhas permitiu ainda identificar quais as categorias de impacto que apresentam maior disparidade entre os resultados obtidos. Assim, entre as categorias de impacto que registam maiores contribuições para a rolha técnica em relação à rolha natural, destacam-se cinco para as quais essa superioridade é mais acentuada: Depleção Abiótica (combustíveis fósseis), Acidificação, Aquecimento Global, Oxidação Fotoquímica e Toxicidade Humana). Estas categorias estão relacionadas com o consumo de gás natural e de energia elétrica, o que explica os resultados obtidos. Por outro lado, a rolha natural registou maiores contribuições, relativamente à rolha técnica, para três das onze categorias de impacto estudadas: Depleção Abiótica, Ecotoxicidade em água doce e Ecotoxicidade marinha. Estes resultados devem-se ao facto de a operação de Lavação utilizar maior quantidade de reagentes para as rolhas naturais relativamente à rolha técnica, de onde resultam efluentes com volumes e concentrações de poluentes superiores.

Após a avaliação comparativa das duas rolhas, realizou-se um estudo focado em cada uma das rolhas, com o intuito de avaliar mais aprofundadamente os impactos ambientais associados a cada uma das etapas do ciclo de vida das rolhas de cortiça:

➤ No que concerne a rolha natural, a etapa de Produção foi a que apresentou maiores contribuições para seis das onze categorias de impacto, nomeadamente para a Depleção Abiótica (Combustíveis Fósseis), Aquecimento Global, Ecotoxicidades (Água doce, Marinha e Terrestre) e Acidificação. As maiores fontes de poluentes associadas ao ciclo de vida da rolha natural são os reagentes de Lavação, seguidos pelos consumos de energia elétrica e gás natural. O consumo elétrico vem associado a todas as operações realizadas na rolha natural e o Gás Natural é utilizado principalmente no processo de Desodorização (Innocork®), onde é necessário o consumo de gás para a produção de vapor, e de Secagem das rolhas, onde o gás é usado para o aquecimento do ar insuflado na estufa. A etapa de Transportes (essencialmente focando na Distribuição das rolhas para o cliente engarrafador), foi a segunda maior contribuidora, para três categorias de impacto, Depleção Abiótica, Depleção da camada de ozono e Toxicidade Humana. Para esta etapa, os impactos ambientais vêm naturalmente associados às emissões geradas pela queima do combustível. Em seguida, também a etapa de Preparação da cortiça apresentou contribuições significativas para as categorias de impacto de Aquecimento Global, Ecotoxicidade Terrestre, Oxidação Fotoquímica e Eutrofização. As maiores fontes de poluentes nesta etapa são a produção de Gás Propano e as emissões que resultam da combustão do mesmo, seguidos pelo consumo de energia elétrica. Este elevado consumo de ambos é devido às operações de Cozedura/Escalda que, embora sejam fulcrais para o desenvolvimento das propriedades mecânicas da cortiça e para a remoção de substâncias indesejáveis, são responsáveis quase na totalidade pelos impactos ambientais associados a esta etapa.

➤ No que diz respeito à rolha técnica, a etapa de Produção da rolha foi indubitavelmente a que apresentou maiores contribuições para todas as categorias de impacto, excetuando a de Toxicidade Humana. Para esta categoria foi a etapa de Transportes e Distribuição das rolhas para o cliente engarrafador a mais relevante. As maiores fontes de poluentes associadas ao ciclo de vida da rolha técnica são os consumos de energia elétrica e de Gás Natural, e as emissões resultantes da combustão do mesmo, seguidos dos componentes incluídos na matriz da rolha (Cola aglutinante, Microesferas e Óleo Parafínico). O consumo elétrico vem associado a todas as operações realizadas na etapa de produção da rolha técnica, sendo que neste processo produtivo é ainda necessário tratar o granulado (Remoagem e Desinfecção) e aplicar os processos de Aglomeração do corpo das rolhas, onde existem elevados consumos de eletricidade. Também para o Gás Natural estão associados elevados consumos, principalmente

ao nível do processo de Desinfecção do granulado, onde é necessário o consumo de gás para a produção de vapor, e de Aglomeração, onde o gás desempenha um papel fulcral no aquecimento do forno quente para Aglomeração dos moldes do corpo das rolhas.

Por fim, comparou-se os resultados obtidos no presente estudo com a bibliografia e constatou-se uma semelhança entre os resultados obtidos. Quanto às rolhas de cortiça natural, tal como neste estudo, a bibliografia (Demertzi et al., 2016; Rives et al., 2011; PwC/Ecobilan, 2008; Ecobilancio, 2010) defende que a etapa de Produção das rolhas foi a que mais contribui para o impacto ambiental, devido aos elevados consumos de energia elétrica e gás natural e à utilização de produtos químicos na Lavação. Note-se que apenas o estudo Demertzi et al., 2016 apresenta a etapa de Gestão Florestal, onde esta é considerada como a mais preocupante do ponto de vista ambiental. Na presente dissertação, a etapa de Gestão Florestal não foi uma das mais nocivas para o meio ambiente, o que levanta algumas dúvidas sobre os resultados obtidos para esta etapa. De facto, os dados utilizados foram retirados de uma dissertação realizada no ano de 2009. Verifica-se que existe uma enorme escassez de estudos de ACV públicos que incluam informação de inventário sobre esta etapa. Os estudos que incluem apenas esta etapa, nomeadamente González-García et al., 2013, não permitem recolher informações para o cálculo dos consumos de recursos e uso de solo. Quanto à rolha de cortiça técnica, apenas foi encontrado um estudo que foca a rolha de champanhe (Rives et al., 2016). Dado que a maior parte dos processos é semelhante à rolha técnica estudada nesta tese (Rolha Micro), foi possível relacionar-se os dois estudos. Assim, tal como para a presente dissertação, para o estudo analisado a etapa com maior carga ambiental foi a de Produção das rolhas, devido ao consumo energético associado à produção do granulado e aos reagentes utilizados no processo de aglomeração (como por exemplo a cola aglutinante e o óleo parafínico).

As limitações do trabalho são principalmente na etapa de Gestão Florestal, onde houve dificuldade em recolher informação atualizada que possibilitasse o cálculo dos consumos de recursos e uso de solo. Para alguns dos reagentes usados, nomeadamente produtos de Lavação, não foram encontradas informações na bibliografia e nas bases de dados do software que permitissem avaliar os impactes ambientais, sendo por isso excluídos deste estudo. Também para as opções de Fim de Vida, por indisponibilidade de dados referentes às rolhas de cortiça, considerou-se uma base de dados para a deposição em aterro de resíduos sólidos urbanos.

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 das rolhas de cortiça, como 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 objeto de estudo e por exemplo, avaliar comparativamente o impacto ambiental das rolhas de cortiça e dos vedantes alternativos que são atualmente comercializados. Dada a escassez de informação associada às etapas de Gestão Florestal e Fim de Vida destes vedantes, bem como às rolhas de cortiça técnica, deveriam ser realizados esforços no sentido de se obterem dados mais fidedignos. Por último, e a nível de processo de produção, deveriam ser estudadas alternativas que permitam reduzir os consumos de energia elétrica e de gás natural associados à etapa de Produção das rolhas técnicas de modo a contribuir para uma maior sustentabilidade do setor corticeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Portuguese Cork Association, “APCOR – Sobreiro,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/montado/sobreiro/>. [Accessed: 02-Nov-2018].
- [2] H. Pereira, *Cork: Biology, Production and Uses*, 1st ed., Elsevier Science Ltd.; Amsterdam, The Netherlands, 2007.
- [3] M. Demertzi, R. P. Silva, B. Neto, A. C. Dias, and L. Arroja, “Cork stoppers supply chain: Potential scenarios for environmental impact reduction,” *J. Clean. Prod.*, vol. 112, pp. 1985–1994, 2016.
- [4] Portuguese Cork Association, “APCOR – Fauna,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/montado/biodiversidade/fauna/>. [Accessed: 04-Nov-2018].
- [5] Portuguese Cork Association, “APCOR – Flora,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/montado/biodiversidade/flora/>. [Accessed: 04-Nov-2018].
- [6] Portuguese Cork Association, “APCOR – Ecossistema,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/montado/biodiversidade/ecossistema/>. [Accessed: 05-Nov-2018].
- [7] APCOR, “Anuário de cortiça 17/18,” 2018.
- [8] J. Aronson, J. S. Pereira, and J. U. G. Pausas, “Cork Oak Woodlands on the Edge Society for ecological restoration international the Science and Practice of ecological reStoration Advance praise for Cork Oak Woodlands on the Edge.”
- [9] ITC, “World Cork Exports/imports,” *Int. Trade Center, Geneva, Switz.*, 2011.
- [10] CML-Institute of Environmental Science, “Characterization Factors for impact assessment - Leiden University,” 2010. [Online]. Available: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>. [Accessed: 26-Dec-2018].
- [11] Portuguese Cork Association, “APCOR – Floresta,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/montado/floresta/>. [Accessed: 02-Nov-2018].
- [12] A. Branco and J. C. Lopes, “Clúster y desempeño de las empresas: evidencia historica de la industria Portuguesa del corcho,” *Investig. Hist. Econ.*, vol. 14, no. 1, pp. 43–53,

2018.

- [13] L. Gil, *New Cork-Based Materials and Applications*, vol. 8. 2015.
- [14] M. Demertzi, J. A. Paulo, L. Arroja, and A. C. Dias, “A carbon footprint simulation model for the cork oak sector,” *Sci. Total Environ.*, vol. 566–567, pp. 499–511, 2016.
- [15] J. Rives, I. Fernandez-Rodriguez, J. Rieradevall, and X. Gabarrell, “Environmental analysis of the production of natural cork stoppers in southern Europe (Catalonia - Spain),” *J. Clean. Prod.*, vol. 19, no. 2–3, pp. 259–271, 2011.
- [16] PwC/Ecobilan, “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 prepared for CORTICEIRA AMORIM, SGPS, SA,” 2008.
- [17] Ecobilancio, “Valutazione del ciclo di vita di un tappo ad uso enologico in sughero naturale monopazzo,” Rome, Italy, 2010.
- [18] J. Rives, I. Fernández-Rodríguez, J. Rieradevall, and X. Gabarrell, “Environmental analysis of the production of champagne cork stoppers,” *J. Clean. Prod.*, vol. 25, pp. 1–13, 2012.
- [19] S. González-García, A. C. Dias, and L. Arroja, “Life-cycle assessment of typical Portuguese cork oak woodlands,” *Sci. Total Environ.*, vol. 452–453, pp. 355–364, 2013.
- [20] ILCD, *Genereal Guide for Life Cycle Assessment - Detailed Guidance*. Brussels, Belgium, 2010.
- [21] Heijungs, R., Guinée, J., Huppes, G., Lankreijer, R., Udo de Haes, H., Wegener, B., Sleeswijk, A., Ansems, A., Eggels, P., Duin, R., Goede, H., 1992. Environmental Life Cycle Assessment of Products: Guide and Backgrounds (Part 1). Institute of Environmental Sciences. University of Leiden, The Netherlands.
- [22] Portuguese Cork Association, “APCOR – Rolhas Naturais,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/produtos/rolhas/rolhas-naturais/>. [Accessed: 14-Dec-2018].
- [23] Cork Supply Portugal, “CS Rolha Natural,” 2018. [Online]. Available: <https://www.corksupply.pt/pt/produtos/rolhas-naturais/natura/>. [Accessed: 10-Dec-2018].
- [24] Portuguese Cork Association, “APCOR – Rolhas Técnicas,” 2018. [Online]. Available:

- <http://www.apcor.pt/produtos/rolhas/rolhas-tecnicas/>. [Accessed: 14-Dec-2018].
- [25] Portuguese Cork Association, “APCOR – Rolhas Micro Granuladas,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/produtos/rolhas/rolhas-micro-granuladas/>. [Accessed: 14-Dec-2018].
- [26] Portuguese Cork Association, “APCOR – Rolhas Aglomeradas,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/produtos/rolhas/rolhas-aglomeradas/>. [Accessed: 14-Dec-2018].
- [27] AGRONSL, “Serviços Agrícolas e Florestais,” 2016. [Online]. Available: <http://www.agronsl.pt/>. [Accessed: 29-Nov-2018].
- [28] Empev, “Silvicultura,” 2018. [Online]. Available: <https://empev.pt/portfolio/silvicultura/>. [Accessed: 06-Dec-2018].
- [29] Portuguese Cork Association, “APCOR – Descortiçamento,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/descorticamento/>. [Accessed: 08-Dec-2018].
- [30] Silvitec, “Extração de cortiça,” 2018. [Online]. Available: <http://silvitec.com/portfolio/extracao-de-cortica/>. [Accessed: 26-Nov-2018].
- [31] Portuguese Cork Association, “APCOR – Percurso Industrial das Rolhas Naturais,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/cortica/processo-de-transformacao/percurso-industrial/rolhas-naturais/>. [Accessed: 17-Dec-2018].
- [32] Portuguese Cork Association, “APCOR – Cortiça,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/cortica/o-que-e/>. [Accessed: 03-Nov-2018].
- [33] Cork Supply Portugal, “Innocork,” 2018. [Online]. Available: <https://www.corksupply.pt/pt/compromisso-de-qualidade/innocork/>. [Accessed: 15-Dec-2018].
- [34] Cork Supply Portugal, “Vapex,” 2018. [Online]. Available: <https://www.corksupply.pt/pt/compromisso-de-qualidade/vapex/>. [Accessed: 20-Dec-2018].
- [35] Portuguese Cork Association, “APCOR – Percurso Industrial das Rolhas Técnicas,” 2018. [Online]. Available: <http://www.apcor.pt/cortica/processo-de->

transformacao/percurso-industrial/rolhas-tecnicas/. [Accessed: 16-Dec-2018].

- [36] Organisation for Economic Co-operation and Development, “Municipal Waste,” *Environ. at a Glance 2015: OECD Indic. OECD Publ. Paris*, 2015.
- [37] ISO - International Organization for Standardization, “ISO 14040: 2008 - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e Enquadramento,” 2008. International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland.
- [38] ISO - International Organization for Standardization, “ISO 14044: 2006 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines,” 2006. International Organization for Standardization. Geneve, Switzerland.
- [39] P. C. Ferrão, *Ecologia Industrial: Princípios e Ferramentas*, 1st ed. Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia. Editora IST Press, 2009.
- [40] J. Vicente and R. Ferreira, “ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DOS PRODUTOS,” Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- [41] Pinheiro, M.D., 2014. Lectures. “*Impactes Ambientais*,” MEGI, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.
- [42] A. F. Mimoso, A. Carvalho, A. N. Mendes, and H. A. Matos, “Roadmap for Environmental Impact Retrofit in chemical processes through the application of Life Cycle Assessment methods,” *J. Clean. Prod.*, vol. 90, pp. 128–141, Mar. 2015.
- [43] R. P. Silva, “Avaliação do Ciclo de Vida da Rolha de Cortiça natural,” *Diss. submetida para Satisf. parcial dos Requisitos do grau mestre em Eng. do Ambient.*, 2009.
- [44] M. Winther and C. Dore, “EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 - Update May 2017,” no. May, pp. 1–82, 2017.

ANEXOS

Anexo A – Distribuição das rolhas

Anexo B – Fim de Vida das rolhas

Anexo A – Distribuição das rolhas

Tabela A1. Distribuição da massa da Unidade Funcional referente a cada tipo de rolha, pelos Países mais consumidores das rolhas produzidas pela Cork Supply e por tipo de transporte (CSP, 2018)

País	Tipo de Transporte	Nº de Expedições	Quantidade média de rolhas/Expedição	Quilometragem (km)	Quantidade total de rolhas	Percentagem	1000 rolhas naturais (kg)	1000 rolhas técnicas (kg)
Itália	Aéreo	48	3267	2546	156816	0,06%	0,0022	0,0034
Itália	Terrestre	1432	16453	2202	23560696	9,24%	0,3325	0,5080
França	Aéreo	21	3714	1570	77994	0,03%	0,0011	0,0017
França	Terrestre	1140	23206	1362	26454840	10,37%	0,3734	0,5704
Espanha	Terrestre	2098	25737	672	53996226	21,17%	0,7621	1,1643
Portugal	Terrestre	739	46453	290	34328767	13,46%	0,4845	0,7402
EUA	Aéreo	144	133000	9940	19152000	7,51%	0,2703	0,4130
EUA	Marítimo	59	1650000	17445	97350000	38,16%	1,3739	2,0991
Total					255077339		3,6	5,5

Anexo B – Fim de Vida das rolhas

Tabela B1. Distribuição da massa da Unidade Funcional referente à rolha de cortiça natural, por entre as opções de final de vida de Deposição em aterro e Incineração para cada um dos países mais consumidores das rolhas produzidas pela Cork Supply [36]

País	Massa (kg)	Deposição	Incineração	Massa Deposição (kg)	Massa Incineração (kg)
França	0,3745	45%	55%	0,1691	0,2054
EUA	1,6442	82%	18%	1,3453	0,2990
Itália	0,3347	64%	36%	0,2156	0,1191
Espanha	0,7621	86%	14%	0,6532	0,1089
Portugal	0,4845	68%	32%	0,3274	0,1571
Total	3,6			2,7106	0,8894

Tabela B2. Distribuição da massa da Unidade Funcional referente à rolha de cortiça técnica, por entre as opções de final de vida de Deposição em aterro e Incineração para cada um dos países mais consumidores das rolhas produzidas pela Cork Supply [36]

País	Massa (kg)	Deposição	Incineração	Massa Deposição (kg)	Massa Incineração (kg)
França	0,5721	45%	55%	0,2584	0,3137
EUA	2,5120	82%	18%	2,0553	0,4567
Itália	0,5114	64%	36%	0,3294	0,1820
Espanha	1,1643	86%	14%	0,9979	0,1663
Portugal	0,7402	68%	32%	0,5001	0,2401
Total	5,5			4,1411	1,3589