



CATOLICA
ESCOLA SUPERIOR DE BIOTECNOLOGIA

PORTO

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA PARA COMPARAÇÃO DE PROCESSOS DE
DECORAÇÃO DE GARRAFAS DE VINHO DO PORTO

por

Inês Rua Guedes

Novembro de 2019

AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA PARA COMPARAÇÃO DE PROCESSOS DE
DECORAÇÃO DE GARRAFAS DE VINHO DO PORTO

Tese apresentada à Escola Superior de Biotecnologia da Universidade Católica Portuguesa
para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Alimentar

por

Inês Rua Guedes

Supervisora (Symington Family Estates): Mestre Cláudia Santos

Orientadora (Universidade Católica Portuguesa): Prof.^a Doutora Fátima Poças

Novembro de 2019



(...)

Valeu a pena? Tudo vale a pena

Se a alma não é pequena.

Quem quer passar além do Bojador

Tem que passar além da dor.

Deus ao mar o perigo e o abismo deu,

Mas nele é que espelhou o céu.

Fernando Pessoa, in *Mensagem* (1934)

AGRADECIMENTOS

Ao longo da dissertação desta tese de mestrado e dos últimos cinco anos do meu percurso académico pude sempre contar com diferentes apoios e contributos pelos quais estou agradecida.

À minha orientadora, Doutora Fátima Poças, agradeço o apoio, cuidado, disponibilidade e envolvimento ao longo deste percurso.

Agradeço à co-orientadora, Engenheira Cláudia Santos, por ter possibilitado o contacto com a empresa fornecedora, BA Glass. Agradeço, também, a todos aqueles que tive a oportunidade de conhecer na Symington Family Estates e que estiveram sempre disponíveis para me ensinar e colaborar comigo, em particular, ao Aníbal Silva, ao João Magalhães e ao Rui Cardoso.

Agradeço à Engenheira Andreia Tiago, ao Engenheiro Sérgio Sousa e, em especial, ao Engenheiro Nuno Rocha por toda a ajuda, disponibilidade, atenção e amabilidade com que sempre me receberam na BA Glass.

Agradeço à Doutora Ana Cláudia Dias, à Doutora Paula Quinteiro e ao Doutor Luís Arroja da Universidade de Aveiro pela disponibilidade, simpatia com que me receberam e pelo acompanhamento numa fase decisiva deste trabalho.

Agradeço a todos os meus professores da ESB pela fantástica formação que me proporcionaram. Um especial agradecimento às professoras que mais me acompanharam, Doutora Conceição Hogg, Doutora Cristina Silva, Doutora Paula Castro e Doutora Fátima Poças. Um obrigada muito grande à Marta Guimarães pela ajuda e amizade.

Agradeço à minha família e amigos, sempre interessados e presentes.

Por fim, o maior e mais importante agradecimento de todos, aos meus Pais. Tendo sido uma surpresa verem a filha escolher um curso de Engenharia, tal só intensificou ainda mais o apoio que sempre me deram. A eles e aos meus avós, dedico a minha tese de mestrado.

ABSTRACT

The present study was asked by the Symington Family Estates (SFE) in order to determine which of the three alternative decorations of a Cockburn's 75 cL Port wine bottle has the lowest environmental impact. The aim of this study was to compare the environmental impacts of the alternative decorations of the wine bottle, applying the Life Cycle Assessment (LCA) methodology. The three alternative decorations consist of sleeve application, paint and screen printing or screen printing. The system boundaries include the transport of the raw materials (to the decoration unit) and the decoration process; the utilization phase and the disposal of the decorated bottles are not included in the system boundaries. It is important to highlight that only the decoration processes are focused on this study, the bottle production is not included. The primary data was collected with the support of a SFE supplier, BA Glass; the secondary data was collected in ecoinvent v.3.4 database, available in SimaPro software version 8.5. The ReCiPe 2016 v.1.01 impact assessment method was used to compare the alternative decorations. The analysed impact categories were the following: global warming, ozone formation (impacts on human health and on terrestrial ecosystems), terrestrial acidification and fossil resource scarcity. The results showed that, for all the systems assessed, the burning of natural gas during the process of decoration is the main contributor for all the impact categories, with exception of fossil resource scarcity. Concerning this impact category, the main contributor is the natural gas, regarding its production and extraction. It was verified that, for all the assessed impact categories, the alternative decoration, paint and screen printing, has the highest environmental impact, followed by screen printing; sleeve application turned up to be the alternative with the lowest environmental impact.

Keywords: Life Cycle Assessment, Sleeve, Paint, Screen printing, Port wine bottle

SUMÁRIO

O presente estudo foi proposto pela empresa Symington Family Estates (SFE) que pretendia determinar qual de três alternativas de decoração de uma garrafa de vinho do Porto Cockburn's 75 cL tinha menor impacto ambiental. Assim, este estudo teve como objetivo comparar os impactos ambientais de três alternativas de decoração de uma garrafa de vinho, aplicando-se, para tal, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). As três alternativas de decoração consistem na aplicação de *sleeve*, pintura e serigrafia ou serigrafia. As fronteiras do sistema incluem o transporte das matérias-primas até às respetivas unidades de produção e o processo de decoração; as fases de utilização e de descarte das garrafas decoradas não estão incluídas nas fronteiras do sistema. É de destacar que apenas os processos de decoração são alvo de estudo, não a garrafa. Os dados foram recolhidos diretamente com a BA Glass, fornecedor da SFE, e foi também utilizada a base de dados ecoinvent v.3.4, disponível no *software* SimaPro versão 8.5. O método de avaliação de impacto utilizado para proceder à comparação das alternativas de decoração foi o ReCiPe 2016, v.1.01. Foram avaliadas as seguintes categorias de impacto: aquecimento global, formação de ozono (com impactos para a saúde humana e para os ecossistemas terrestres), acidificação terrestre e escassez de recursos fósseis. Os resultados obtidos demonstraram que, para os três cenários de decoração avaliados, a combustão do gás natural durante o processo de decoração é o maior contribuidor para todas as categorias de impacto, com exceção da categoria de escassez de recursos fósseis. Relativamente a esta última, observou-se que o maior contribuidor é o gás natural, no que diz respeito à sua produção e extração. Assim, verificou-se que, para todas as categorias de impacto avaliadas, a alternativa de decoração por pintura e serigrafia é a que apresenta maior impacto ambiental, seguida da decoração por serigrafia, sendo que a decoração por aplicação de *sleeve* é a que apresenta menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Avaliação de Ciclo de Vida, *Sleeve*, Pintura, Serigrafia, Garrafa de vinho do Porto

ÍNDICE

ABSTRACT	4
SUMÁRIO	5
1. INTRODUÇÃO	11
2. ESTADO DA ARTE	17
2.1. A história e evolução da ACV (base literária).....	17
2.2. <i>Softwares</i> , bases de dados e métodos	33
2.2.1. <i>Softwares</i>	33
2.2.2. Bases de dados	35
2.2.3. Métodos de avaliação de impacto	36
3. MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1. Recolha de dados e <i>software</i>	38
3.2. Especificações da garrafa e das matérias-primas	38
3.2.1. Características da garrafa	38
3.2.2. Características das tintas de pintura e de serigrafia.....	39
3.2.3. Características do <i>sleeve</i>	39
4. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E DO ÂMBITO DA ACV E DA UNIDADE FUNCIONAL	40
4.1. Objetivos.....	40
4.2. Âmbito	40
4.2.1. Descrição e fronteiras do sistema.....	40
4.3. Unidade Funcional.....	41
5. INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	42
5.1. Transporte.....	42
5.1.1. Transporte das garrafas	42
5.1.3. Garrafa serigrafada	44
5.1.4. Garrafa pintada e serigrafada	45
5.2. Descrição dos processos de decoração da garrafa.....	46
5.2.1. Garrafa com <i>sleeve</i>	46
5.2.2. Garrafa serigrafada	48
5.2.3. Garrafa pintada e serigrafada	48
5.3. Dados de inventário	49
6. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (AICV)	53

7. INTERPRETAÇÃO	57
7.1. Comparação das alternativas de decoração	57
7.2. Análise de <i>hotspot</i> (principal fator contribuidor para uma dada categoria de impacto)	63
7.3. Conclusões.....	64
REFERÊNCIAS	65
APÊNDICES	69
A1.1) A História.....	69
A1.2) Missão, Visão e Valores da SFE.....	73
A1.3) Sustentabilidade: um compromisso da família e uma responsabilidade social e ambiental.....	75
A2) Estágio — Período de integração na empresa	81
1) Controlo de Capacidade.....	81
2) Controlo de Materiais	82
3) Controlo de Produto Acabado	83
A3) Dados de ICV	84
A3.1) Materiais de Paletização	84
A3.2) Tintas cerâmicas para os processos de decoração	84
A3.3) Consumo energético	85
A3.4) Determinação das emissões de CO ₂	86
A3.5) Categorias de Impacto (resultados)	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia de ACV (adaptado de ISO 14040:2006)	14
Figura 2 - Exemplos ilustrativos de garrafas sleeveadas, serigrafadas e pintada e serigrafada (da esquerda para a direita)	16
Figura 3 - Esquema ilustrativo da fronteira do sistema.....	41
Figura 4 - Esquema ilustrativo do transporte das garrafas	42
Figura 5 - Fluxograma do transporte das garrafas e dos sleeves. Seja T1: Transporte dos sleeves de Barcelona a Avintes; T2: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros a Avintes; T3: Transporte das garrafas sleeveadas de Avintes à SFE	43
Figura 6 - Ilustração da caixa onde são transportados os sleeves com as respetivas dimensões	43
Figura 7 - Fluxograma do transporte das tintas cerâmicas e das garrafas. Seja T4: Transporte das tintas cerâmicas de Ílhavo a Avintes; T5: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros a Avintes; T6: Transporte das garrafas serigrafadas de Avintes à SFE.....	44
Figura 8 - Ilustração da caixa onde são transportadas as tintas cerâmicas com as respetivas dimensões	44
Figura 9 - Fluxograma do transporte das tintas cerâmicas (para serigrafia e para pintura) e das garrafas. Seja T7: Transporte das tintas cerâmicas para serigrafia de Ílhavo a Avintes; T8: Transporte das tintas cerâmicas para pintura de Ílhavo à Marinha Grande; T9: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros à Marinha Grande; T10: Transporte das garrafas pintadas da Marinha Grande a Avintes; T11: Transporte das garrafas pintadas e serigrafadas de Avintes à SFE	45
Figura 10 - Fluxograma do processo de aplicação do sleeve	47
Figura 11 - Fluxograma do processo de serigrafia	48
Figura 12 - Fluxograma dos processos de pintura e de serigrafia	49
Figura 13 - Ilustração método ReCiPe (adaptado de ReCiPe 2016)	53
Figura 14 - Resultados da avaliação de impacto (para as categorias de impacto aquecimento global (em cima) e escassez de recursos fósseis (em baixo)) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia.....	59
Figura 15 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto formação de zona, saúde humana) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia	60
Figura 16 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto formação de zona, ecossistemas terrestres) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia	61
Figura 17 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto acidificação terrestre) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia	62
Figura 18 - Cronologia dos prémios de prestígio recebidos pela SFE	71
Figura 19 - Esquema representativo da Missão e Visão da SFE.....	73
Figura 20 - Esquema representativo dos Valores da SFE	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Bibliografias de artigos que apliquem a metodologia de ACV no setor de embalagem de alimentos (n.a.: não aplicável).....	20
Tabela 2 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa com aplicação de sleeve	50
Tabela 3 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa serigrafada	51
Tabela 4 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa pintada e serigrafada ..	52
Tabela 5 - Resultados da avaliação de impacto associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia	57
Tabela 9 - Materiais de paletização e respetivas quantidades e pesos	84
Tabela 10 - Quantidades de tinta cerâmica (g) aplicadas no processo de serigrafia por unidade funcional.....	84
Tabela 11 - Quantidades de tinta cerâmica (g) necessárias para os processos de pintura e serigrafia por unidade funcional.....	84
Tabela 12 - Consumo de gás natural (L) relativo a cada processo de decoração, por unidade funcional.....	85
Tabela 13 - Consumo de eletricidade (kWh) relativo a cada processo de decoração por unidade funcional.....	85
Tabela 14 - Adaptado de Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA), 2013 ..	86
Tabela 15 - Resultados obtidos para a categoria de impacto aquecimento global (kg CO ₂ eq)	87
Tabela 16 - Resultados obtidos para a categoria de impacto formação de ozono com impactos na saúde humana (kg NO _x eq)	87
Tabela 17 - Resultados obtidos para a categoria de impacto formação de ozono com impactos nos ecossistemas terrestres (kg NO _x eq).....	88
Tabela 18 - Resultados obtidos para a categoria de impacto acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	88
Tabela 19 - Resultados obtidos para a categoria de impacto escassez de recursos fósseis (kg óleo eq).....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E DE ACRÓNIMOS

ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida
CML	<i>Centrum voor Milieukunde Leiden</i>
CO ₂	Dióxido de Carbono
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
EDIP	<i>Environmental Development of Industrial Products</i>
EF	Environmental Footprint
GEE	Gases com Efeito de Estufa
GWP ₁₀₀	Potencial de Aquecimento Global num intervalo de 100 anos (<i>100-year Global Warming Potential</i>)
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
ISO	<i>International Standardization Organization</i>
JRC	<i>Joint Research Centre</i>
NO _x	Óxidos de Azoto
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
PA	Pegada de Água
PC	Pegada de Carbono
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno tereftalato
PLA	Ácido Polilático
PS	Poliestireno
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SFE	Symington Family Estates
SO ₂	Dióxido de Enxofre
t	Tempo
T	Temperatura
TSF	Tratamento de Superfície a Frio

1. INTRODUÇÃO

A consciencialização ambiental é um tema que tem vindo a ser promovido com grande destaque nos últimos anos. No passado, os produtores entregavam o produto ao distribuidor ou cliente e a sua associação ao produto terminava. Hoje em dia, tal já não acontece: qualquer produtor trabalha com cadeias de fornecedores, a montante, e com cadeias de clientes, a jusante. A responsabilidade do produtor já não termina “ao portão da fábrica” (Cohen e Robbins, 2011). A indústria pauteia-se pelo acompanhamento e rastreamento do produto e os próprios governos já impuseram responsabilidades aos produtores no que remete à gestão dos resíduos gerados e à sua reintegração em processos.

Segundo a Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020, nos últimos dez anos, verificou-se um crescimento de atividades por parte de entidades privadas que promovem a sustentabilidade como sendo uma responsabilidade social e ambiental. Esta promoção da sustentabilidade baseia-se na realização de atividades como a adoção de metas de sustentabilidade na estratégia da empresa, a implementação de processos e o desenvolvimento de novos produtos¹.

Assim, metodologias têm sido adotadas para que as empresas possam quantificar o impacto ambiental da sua atividade, permitindo alterar comportamentos e processos que contribuam para uma organização com o menor impacto ambiental possível. A crescente consciencialização para a importância da proteção ambiental e dos possíveis impactos associados aos produtos (tanto produzidos como consumidos) despoletou o interesse e a necessidade de desenvolver métodos que permitam uma melhor perceção, identificação e quantificação desses impactos. Deste modo, uma das metodologias que foi desenvolvida foi a avaliação de ciclo de vida (ACV).

Proceder à ACV de um produto é uma necessidade que se tem vindo a impor nas empresas e organizações. O desenvolvimento sustentável é um tema largamente abordado e discutido tanto nacional como internacionalmente; requer melhorias na eco-eficiência ou na eficiência da utilização de energia e de recursos naturais e no princípio da redução de desperdícios (Cabot *et al.*, 2019). Estas questões conduzem à necessidade de melhorar a eco-

¹ Por “produto” subentenda-se qualquer bem ou serviço.

eficiência ao longo do ciclo de vida de um produto, podendo-se recorrer à inclusão de “tecnologias limpas” num dado processo.

De acordo com a Agência Europeia do Ambiente, a ACV de um produto, também denominada por eco-balanço ou por avaliação do berço à sepultura, é uma metodologia que envolve a avaliação de aspetos ambientais do sistema de um produto ao longo de todas as etapas do seu ciclo de vida (Jensen *et al.*,1997). O ciclo de vida típico consiste numa série de fases desde a extração de matérias-primas ao *design*, formulação, processamento, manufatura, embalagem, distribuição, utilização, reutilização, reciclagem e, por último, descarte.

A área da embalagem é um dos maiores focos de aplicação da metodologia ACV. Em 1969, a Coca-Cola já aplicava os conceitos de quantificação de materiais, energia e consequências ambientais da embalagem ao longo do seu ciclo de vida (Sonneveld, 2000). Inicialmente, em 1960, o interesse em determinar os impactos ambientais associados aos materiais de embalagem estava relacionado com a preocupação geral quanto ao aumento da utilização de embalagens de plástico e, conseqüentemente, à geração de maiores volumes de resíduos sólidos. Já na década de 70, a preocupação com consumos energéticos ganhou um grande enfoque. No início da década de 80, começou-se a integrar os diferentes parâmetros — consumo energético e de materiais, emissões e resíduos sólidos — numa única análise dado que, até então, estes parâmetros eram analisados singularmente e não em conjunto. Este processo levou ao desenvolvimento e aperfeiçoamento da metodologia de ACV pela SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) e, mais tarde, pela ISO (*International Standardization Organization*) (Sonneveld, 2000).

A população mundial consome cada vez mais produtos que, por sua vez, são vendidos em embalagens que geram grandes quantidades de resíduos (Pasqualino *et al*, 2011). De acordo com a Interpack (www.interpack.com), o sector alimentar é responsável pelo maior número de embalagens utilizadas a nível mundial; seguem-se os setores das bebidas, cosméticos, indústria farmacêutica, alimentação animal e tabaco.

Ao proceder a estudos de ACV a sistemas de embalagens existentes ou propostos, é possível compreender os impactos ambientais associados a esse sistema. Como tal, procede-se à identificação das fases críticas do ponto de vista ambiental do ciclo de vida e à tomada de conhecimento de possíveis falhas ao longo do sistema. Assim, focando nas fases críticas identificadas no sistema, podem ser tomadas ações de modo a melhorar a performance

ambiental do mesmo (Sonneveld, 2000). Deste modo, os resultados obtidos por ACV fornecem indicações estratégicas para o desenvolvimento da embalagem e investimento da mesma (Sonneveld, 2000). A ACV é, também, utilizada para estudar possibilidades futuras de embalagem, sendo esta a aplicação da ACV no presente trabalho.

De acordo com Pasqualino *et al.* (2011), aquando da escolha de uma embalagem para alimentos, os fatores mais importantes a ter em consideração são:

- Segurança da embalagem;
- Preservação da qualidade do alimento e da sua frescura;
- Imagem atrativa e estratégias de marketing;
- Identificação do produto;
- Prestar claramente informações ao consumidor;
- Facilidade de armazenamento e distribuição (transporte);
- Implicações ambientais.

Relativamente a este último ponto (Implicações Ambientais), na introdução da ISO 14040:2006² e 14044:2006 (normas que apresentam os princípios e estrutura da metodologia de ACV e os requisitos e orientações para elaboração de uma ACV, respetivamente), a ACV é definida como uma técnica que permite estimar os aspetos e impactos ambientais de um dado produto, avaliando cada e qualquer impacto associado a todas as fases do processo desde o berço à sepultura (desde a extração das matérias-primas à produção, utilização, tratamentos de fim de vida útil, reciclagem e descarte).

² A ISO 14040:2006, juntamente com a ISO 14044:2006, cancela e substitui a ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e a ISO 14043:2000, que foram revistas tecnicamente.

O esquema da Figura 1 representa a metodologia de ACV, tendo sido adaptado da ISO 14040:2006.

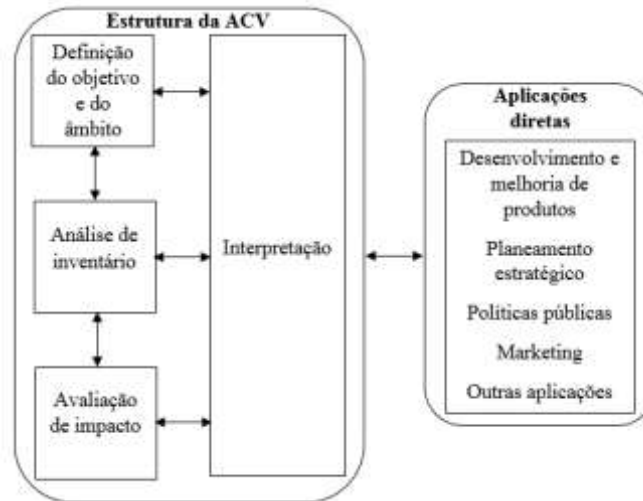


Figura 1 - Metodologia de ACV (adaptado de ISO 14040:2006)

Assim, de acordo com a ISO 14040:2006 e a ISO 14044:2006, a ACV permite:

- Identificar oportunidades que possam melhorar a performance ambiental dos produtos ao longo das diversas etapas do seu ciclo de vida;
- Informar os responsáveis por tomadas de decisão na indústria, governo ou organizações não-governamentais;
- Selecionar indicadores relevantes de performance ambiental, incluindo técnicas de medição;
- Realizar abordagens de marketing.

A ISO 14044:2006 apresenta os requisitos para conduzir uma ACV, referindo quatro fases num estudo de ACV, como se pode observar pela Figura 1.

O âmbito de uma ACV, incluindo as fronteiras do sistema e o nível de detalhe, depende do tema e da finalidade que se pretende do estudo. A profundidade e abrangência da ACV podem ser consideravelmente diferentes, dependendo do objetivo de cada ACV.

Na fase de análise de inventário (ICV, Inventário de Ciclo de Vida) são registados todos os *inputs* e *outputs* do sistema, pelo que é imperativo proceder à recolha de dados necessários para atingir os objetivos delineados no estudo.

A fase de avaliação de impacto (AICV, Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida) tem como propósito fornecer informação adicional que permita avaliar os resultados do ICV do produto, possibilitando uma melhor compreensão do seu significado ambiental.

A última fase da metodologia de ACV, a interpretação, reúne o resumo dos resultados ou do ICV ou do AICV, ou de ambos, apresentando a sua discussão, conclusão, recomendações e decisões a tomar de acordo com os objetivos e âmbito definidos.

Demonstrando a relevância atribuída pelas empresas ao tema da sustentabilidade, esta tese tem como objetivo dar resposta a uma questão colocada pela empresa Symington Family Estates (SFE) relativamente ao impacto ambiental de diferentes alternativas de decoração de uma garrafa de vinho do Porto. Inicialmente, foram propostas cinco alternativas de decoração:

- 1) Garrafa sleeveada;
- 2) Garrafa pintada com tinta cerâmica e serigrafada com tinta cerâmica;
- 3) Garrafa pintada com tinta orgânica e serigrafada com tinta ultravioleta;
- 4) Garrafa serigrafada com tinta cerâmica;
- 5) Garrafa serigrafada com tinta ultravioleta.

Dado que não foi possível obter dados de fornecedores relativamente ao processo de pintura com tintas orgânicas e ultravioleta, não foi possível proceder à análise de impacto ambiental das alternativas 3) e 5).

Como tal, compararam-se os impactos ambientais decorrentes de cada possibilidade de decoração — garrafa sleeveada, garrafa serigrafada e garrafa pintada e serigrafada —, tendo-se recorrido à metodologia de ACV. É importante referir que as alternativas *sleeve* e pintura e serigrafia recobrem a garrafa na sua totalidade, contrariamente à alternativa serigrafia.

De seguida, na Figura 2, são apresentados exemplos ilustrativos de garrafas com as três alternativas de decoração.



Figura 2 - Exemplos ilustrativos de garrafas sleeveadas, serigrafadas e pintada e serigrafada (da esquerda para a direita)

Assim, foram definidos os seguintes objetivos de tese:

1. Conhecer e aplicar a metodologia de avaliação de ciclo de vida;
2. Aprender a utilizar o *software* SimaPro para realizar uma avaliação de ciclo de vida;
3. Dar a conhecer aos responsáveis pelas tomadas de decisão as consequências ambientais de cada opção de decoração, permitindo, deste modo, uma tomada de decisão sustentada e informada.

Foi recolhida informação sobre a história da empresa, a sua missão, visão e valores e o seu forte compromisso na área da sustentabilidade que é apresentada no apêndice A1. De modo a estabelecer um primeiro contacto com a realidade profissional e empresarial, foi realizado um estágio com a duração de um mês, durante o qual foi possível não só adquirir, mas também colocar em prática, conhecimentos e desenvolver competências pessoais em contexto profissional. No apêndice A2 são apresentados os conhecimentos adquiridos bem como o trabalho realizado ao longo deste período de integração na empresa.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. A história e evolução da ACV (base literária)

De acordo com Guinée (2012), os primeiros estudos reconhecidos atualmente como ACV parciais datam os finais da década de 60, inícios da década de 70. Inicialmente, o âmbito destes estudos focava-se na análise energética, mas, mais tarde, passou a abranger as necessidades de recursos, emissões e geração de resíduos. Neste período, as ACV focavam-se, principalmente, em estudos de embalagens alternativas. Após um período de desinteresse pela temática da ACV, nos inícios da década de 80, houve um crescimento acentuado do interesse e da atenção dada à ACV. Foi então que se introduziu o primeiro método de avaliação de impacto ao se separar as emissões para a água das emissões para o ar, agregando-as nos outrora chamados “volumes críticos” de água e “volumes críticos” de ar. Foi no período de 1970 a 1990 que se definiu a ACV, com diversas abordagens, terminologias e resultados. A falta de discussão e de partilha científica a nível internacional eram notórias e, como tal, as ACV eram realizadas com diferentes abordagens e métodos e sem uma base teórica comum; conseqüentemente, a diferença entre os resultados era tão acentuada, mesmo quando os objetos de estudo eram os mesmos, que tal tornou-se numa barreira à aceitação e à utilização da metodologia (Guinée, 2012).

Na década de 90, notou-se um crescimento científico significativo e um aumento de atividades realizadas por todo o mundo (*workshops* e fóruns organizados pela SETAC), o que se revelou no número de guias e de livros sobre ACV produzidos. Posteriormente, em 1994, a ISO ficou responsável por normalizar os métodos e procedimentos da ACV, enquanto a SETAC tinha a função de desenvolver os métodos. Alguns dos métodos de avaliação de impacto utilizados na atualidade evoluíram desde este período, como é o caso do CML 1992; também os métodos EDIP, Eco-indicator 95 e Eco-indicator 99 foram desenvolvidos nesta década. Assim, este período caracteriza-se pela convergência e partilha de conhecimento e de ideias (Guinée, 2012).

No ano 2000, ainda havia muito trabalho a desenvolver para tornar a ACV numa metodologia credível, mas era certo que a ACV, como conceito, tinha chegado para ficar. Na altura, o objetivo principal era refinar a metodologia e normalizá-la a um nível global; com o aumento da globalização, a troca de dados internacionalmente tornou-se um requisito essencial (Sonneveld, 2000). Segundo Guinée (2012), em 2002, o Programa Ambiental das Nações

Unidas e a SETAC formaram a Iniciativa de Ciclo de Vida cujo objetivo residia em desenvolver o modo de pensar em ciclo de vida e melhorar as ferramentas para ACV, no que remete a bases de dados e a indicadores. Mais tarde, em 2005, foi formada a Plataforma Europeia de Avaliação de Ciclo de Vida que pretendeu promover a disponibilidade, a troca e a utilização de dados, de métodos e de estudos de ciclo de vida que permitissem auxiliar nas tomadas de decisão no que remete à legislação e negócios. Para além disso, foram propostas a avaliação de custos de ciclo de vida e a avaliação social de ciclo de vida (Guinée, 2012). Foi nesta década que foram apresentados os métodos TRACI, IMPACT 2002+ e ReCiPe. Estes métodos serão abordados com mais detalhe no ponto 2.2.3.

As metodologias de ACV evoluíram muito até aos dias de hoje. Atualmente, com o aumento da perceção do ambiente e da sustentabilidade e com mais e melhores dados, é possível aumentar a credibilidade dos resultados (Dhaliwal, 2016). Com as ferramentas atuais e com uma abordagem mais sustentável, pretende-se melhorar continuamente a metodologia de ACV.

De seguida, é feita referência a trabalhos publicados na área de avaliação de ciclo de vida.

Sonneveld (2000) descreve a integração do conceito de ACV num código de práticas para a embalagem e discute o papel desta metodologia como ferramenta de suporte de decisão para o setor da embalagem. Mahler *et al.* (2012) explica como fazer uma abordagem de ciclo de vida de um produto relativamente à sua sustentabilidade. Falkenstein *et al.* (2010) realizou uma análise a estudos de ACV que comparam as embalagens cartonadas para bebidas a embalagens alternativas. Vignali (2016) e Besch *et al.* (2019) procederam à compilação de vários estudos de ACV com o intuito de demonstrar o aumento da atenção prestada à metodologia de ACV desde os finais da década de 90 e para averiguarem se esta metodologia é representativa da realidade dos impactos ambientais associados às cadeias de fornecimento, respetivamente. Rezaei *et al.* (2018) apresenta uma abordagem de seleção de um *design* sustentável para o sistema produto-embalagem, tendo em consideração todas as fases na cadeia de fornecimento de alimentos. Pauer *et al.* (2019) investiga como é que a sustentabilidade associada às embalagens alimentares pode ser definida e mensurada através de indicadores adequados.

Proceder à ACV de uma embalagem é a forma de compreender as suas consequências para com o ambiente. A metodologia de ACV é frequentemente aplicada para estudar os

impactos ambientais associados a opções alternativas de embalagens de alimentos e possibilidades de *design*. São vários os artigos científicos que apresentam estudos que se apoiam na ACV para comparar impactos ambientais de diferentes sistemas de embalagem, sendo as seguintes referências alguns exemplos: Zabaniotou e Kassidi (2003), De Monte *et al.* (2005), Banar e Çokaygil (2009), Humbert *et al.* (2009), Singh *et al.* (2010), Cleary (2013), Odabasi e Buyukgungor (2016), Simon *et al.* (2016), Borghi *et al.* (2018) e Cabot *et al.* (2019). A Tabela 1, apresenta informação sobre a metodologia seguida por estes autores, bem como objetivos de estudo, *software* e base de dados utilizados, método aplicado e âmbito geográfico; posteriormente, é apresentada uma síntese de cada artigo.

Tabela 1 - Bibliografias de artigos que apliquem a metodologia de ACV no setor de embalagem de alimentos (n.a.: não aplicável)

Referência bibliográfica	Objetivo	Metodologia	Software	Método	Base de dados	Âmbito geográfico
Zabaniotou e Kassidi (2003)	Comparar o impacto ambiental de embalagens de ovos feitas de cartão reciclado ou poliestireno.	ACV	SimaPro 4.0 (versão demo)	Eco-Indicator 95	BUWAL 250 ³ ; ETH Energy v.2	Grécia
De Monte <i>et al.</i> (2005)	Comparar os impactos de opções alternativas de embalagens de café (latas de latão ou sacos multicamada) com o objetivo de verificar a origem e os impactos relacionados com os sistemas de embalagem considerados e demonstrar o que pode ser melhorado em termos de processo de modo a aumentar a performance ambiental sem comprometer a qualidade do produto final.	ACV	SimaPro 5.0 SW	Eco-Indicator 95	IDEMAT ⁴ ; BUWAL 250	Itália; Europa

³ Base de dados do Ministério do Ambiente da Suíça

⁴ Base de dados da Faculdade de Engenharia Industrial da Universidade de Delft

Banar e Çokaygil (2009)	Comparar três tipos de embalagens diferentes de queijo: 1) polipropileno, 2) estanho e polietileno, 3) cartão e polietileno.	ACV	SimaPro 7	Eco-Indicator 99	BUWAL 250	Turquia
Humbert <i>et al.</i> (2009)	Comparar as avaliações de ciclo de vida de duas embalagens alternativas utilizadas para alimentação de bebês produzida pela Nestlé: recipientes de plástico ou de vidro.	ACV	SimaPro 7	IMPACT 2002+; CML 2001	ecoinvent v.1.1	França Espanha Alemanha
Singh <i>et al.</i> (2010)	Fornecer uma metodologia que sirva como ferramenta de tomada de decisão perante várias alternativas de sistemas de embalagem. Comparar três alternativas de pacotes de leite de PEAD.	ICV	SavvyPack 2.0; CAPE PACK 2.04	n.a.	United States 3	Estados Unidos da América
Cleary (2013)	Verificar se as embalagens mais leves e retornáveis são alternativas às garrafas de vidro convencionais não-retornáveis para vinhos e bebidas espirituosas para reduzir os impactos ambientais. Comparação dos impactos potenciais de ciclo de vida de embalagens de vidro de vinho e de bebidas espirituosas.	ACV	SimaPro 7.2	ReCiPe v1.02; IMPACT 2002+; TRACI 2	ecoinvent	Canadá

Odabasi e Buyukgungor (2016)	Esta ACV é empregue para comparar o impacto ambiental associado a uma garrafa PET com o de uma garrafa de vidro.	ACV	SimaPro 8.0.1	Eco-Indicator 99	n.a.	Turquia
Simon <i>et al.</i> (2016)	Este estudo pretende comparar e focar numa série de materiais de embalagens de bebidas (alumínio, PET, PLA, cartão e vidro) e nas soluções de recolha dessas embalagens no fim de vida útil (recolha em supermercados, recolha ao domicílio, recolha em postos de recolha e método de compressão térmica). São, também, assumidos diferentes graus de compressão para cada tipo de embalagem.	ACV	GaBi	CML-IA (2010); Eco-Indicator 99	ecoinvent; NREL	Hungria
Del Borghi <i>et al.</i> (2018)	Esta ACV tem como objetivo determinar os <i>hotspots</i> ao longo das etapas do ciclo de vida incluídas na fronteira do sistema e de realçar a relevância do <i>eco-design</i> da embalagem para diminuição dos impactos ambientais.	ACV	n.a.	CED; WSI; GWP	ecoinvent v.3.1	Itália



Cabot <i>et al.</i> (2019)	Investigar e comparar duas metodologias (ACV e <i>Cradle to Cradle</i>) para analisar a sustentabilidade de produtos e processos. É proposta uma metodologia que combine as duas anteriormente mencionadas que possa ser aplicada no <i>design</i> de embalagens inteligentes.	ACV	SimaPro	Eco-Indicator 99	n.a.	Espanha
-------------------------------	---	-----	---------	---------------------	------	---------

Zabaniotou e Kassidi (2003) utilizaram a metodologia de ACV para comparar duas alternativas de embalagens de ovos: embalagem de poliestireno (PS) ou de papel reciclado. As fronteiras desta ACV não incluem o estudo das fases de transporte, distribuição nem de utilização. Foi assumido que ambos os produtos são descartados em aterro; dado o diferente comportamento dos dois materiais em aterro, foi considerada a fase de tratamento de resíduos. A localização geográfica sobre a qual incide o estudo é a Grécia. Neste caso, a especificação geográfica é importante para a utilização de parâmetros homogêneos relativos à energia. Os dados da manufatura de PS foram obtidos por modelos europeus visto que o PS é importado para a Grécia; devido à falta de dados, foi utilizado um modelo energético representativo da Europa. Foram utilizadas as bases de dados BUWAL 250 e ETH Energy versão 2 (1994), ambas disponíveis no *software* SimaPro 4.0. Foi empregue o método Eco-Indicator 95 para proceder à comparação dos impactos ambientais. Os resultados indicaram claramente que as embalagens de PS têm maior impacto ambiental do que as de papel reciclado, ao longo do seu ciclo de vida. As embalagens de PS produzem sete vezes mais NO_x e dezasseis vezes mais SO_x do que as de papel reciclado. Por outro lado, as embalagens de papel reciclado produzem o dobro dos metais pesados — Pb, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni — e resíduos sólidos do que as de PS. As embalagens de PS contribuem significativamente para a formação de oxidantes fotoquímicos enquanto as de papel reciclado contribuem significativamente para o efeito de estufa e metais pesados. Assim, os resultados revelam que a embalagem de papel reciclado, ao longo do seu ciclo de vida, tem um impacto ambiental inferior ao da embalagem de PS.

A ACV realizada por De Monte *et al.* (2005) pretendeu comparar impactos associados a sistemas alternativos de embalagens de café com o objetivo de demonstrar como os níveis de impacto são alterados em função dos materiais e processos por norma aplicados. A fronteira do sistema não inclui o cultivo do café, transporte e processamento até ao final do processo da torrefação do café. A área geográfica de interesse para o estudo inclui Itália no que diz respeito à energia e à Europa no que remete às matérias-primas. Os dados primários foram obtidos através da empresa em questão e referem-se a quantidades de materiais, emissões e consumos energéticos das linhas de produção e especificações relativas ao processo de produção; os dados secundários foram obtidos através das bases de dados IDEMAT e BUWAL 250, ambas disponíveis no *software* SimaPro versão 5.0 SW, e dizem respeito à eletricidade, matérias-primas e resíduos. O método utilizado para proceder à comparação de impactos foi o Eco-Indicator 95. Foram comparadas cinco alternativas de embalagem: 1) lata com capacidade de 3

kg; 2) lata com capacidade de 250 g; 3) lata com capacidade de 125 g; 4) lata com capacidade de 250 g (36 doses); 5) sacos multicamada com capacidade de 280 g (40 doses). Relativamente à produção das latas, o estudo revelou valores elevados para os impactos relacionados com metais pesados, acidificação, efeito de estufa e efeitos carcinogénicos, impactos que estão normalmente associados à transformação do metal. Quanto às latas de 3 kg, os efeitos predominantes refletem-se na acidificação e *smog* de Inverno; já quanto aos sacos multicamada, na acidificação, efeitos carcinogénicos e *smog* de Verão. O menor impacto está associado à alternativa “1) lata com capacidade de 3 kg”. Já a lata com capacidade de 250 g (36 doses) apresenta um impacto muito elevado devido ao seu *design*. As embalagens de sacos multicamada e as latas de 250 g têm impactos equivalentes, muito semelhantes aos da lata de 3 kg. Assim, a utilização de sacos multicamada em vez de latas metálicas, no caso de embalagens de menor capacidade, pode ser uma alternativa.

A ACV realizada por Banar e Çokaygil (2009) teve como objetivo comparar três embalagens de queijo diferentes — P₁: polipropileno, P₂: estanho e polietileno, P₃: cartão e polietileno. A fronteira do sistema inclui as fases de produção, distribuição e descarte e o âmbito geográfico do estudo é a Turquia. Assumiu-se que o descarte das embalagens é realizado em aterro. O *software* utilizado foi o SimaPro 7 e foi aplicado o método Eco-Indicator 99 para proceder à comparação de embalagens. De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que a fase de produção da embalagem P₂ causa maior impacto ambiental devido à quantidade produzida de estanho. Também a embalagem P₂ foi a que apresentou maior impacto ambiental na fase de distribuição, dado o seu peso ser superior ao do das outras embalagens. A fase de descarte da embalagem P₃ é a que tem menores danos ambientais associados. Foi realizada uma análise de sensibilidade que demonstrou que a embalagem que tem maior impacto ambiental é a P₂ e a que tem menor impacto ambiental é a P₃.

Humbert *et al.* (2009) procedeu à ACV para comparar duas alternativas de embalagem utilizadas para alimento de bebés produzida pela Nestlé: recipientes de plástico ou de vidro. O âmbito geográfico do estudo refere-se a França, Espanha e Alemanha, no ano 2007. Os dados primários foram obtidos através de produtores e fornecedores do produto alimentar e os dados secundários foram consultados em literatura científica e na base de dados ecoinvent, disponível no *software* SimaPro (PRé 2007). Foram aplicados os métodos IMPACT 2002 + e CML 2001 para proceder à comparação dos sistemas alternativos de embalagem e respetiva análise de

sensibilidade. Os resultados demonstraram um ligeiro, mas significativo, benefício do recipiente de plástico comparativamente ao de vidro. Os principais fatores responsáveis pelo benefício ambiental da escolha do plástico em vez do vidro são: a produção do plástico, a redução do peso que influencia positivamente a fase de transporte e os novos processos de preservação do produto alimentar que são conseguidos com o sistema de plástico. Relativamente ao transporte, verificou-se que, para distâncias semelhantes, o sistema de embalagem de plástico apresenta uma pequena, contudo significativa, redução do impacto ambiental quando comparado ao sistema de embalagem de vidro. A diminuição do impacto ambiental resultante da escolha do sistema de plástico em oposição ao de vidro é de 27% para 14% no que remete à energia primária e de 31% para 28% no que diz respeito ao aquecimento global e acidificação terrestre/nutrição.

O ICV realizado por Singh *et al.* (2010) pretendeu comparar o *design* de três sistemas de embalagem de PEBD para leite líquido. As fronteiras do sistema incluem a extração de matérias-primas, o seu processamento, enchimento, distribuição e fim de vida, sendo que a produção e processamento do leite não foram incluídos neste estudo. Foram considerados duas possibilidades de fim de ciclo de vida para todos os componentes da embalagem utilizadas nos três sistemas: 1) 50% incineração e 50% aterro; 2) 40% reciclagem, 30% incineração e 30% aterro, tendo sido considerado o primeiro cenário. Os três tipos de embalagem são identificados como original, cúbico e empilhável. Os *designs* original e cúbico necessitam de grades de plástico reutilizáveis durante a fase de distribuição, contrariamente ao empilhável. A maior parte dos dados de matérias-primas foram obtidos através da base de dados *United States 3*, disponível no *software* SavvyPack; os restantes dados foram obtidos através de um produtor e distribuidor californiano. Os resultados do ICV demonstraram que, relativamente às emissões de gases com efeito de estufa (GEE), o sistema de embalagem empilhável contribui 29% e 22% com mais emissões do que os sistemas de embalagem original e cúbico, respetivamente. Quando comparadas as emissões de GEE associadas aos processos (incluindo a manufatura da embalagem, enchimento, distribuição e descarte), as do sistema de embalagem empilhável são, aproximadamente, superiores 31% e 23% do que as dos sistemas original e cúbico, respetivamente. Relativamente à energia, o sistema de embalagem empilhável consome mais energia do que os outros sistemas; o seu consumo energético é cerca de 29% e 22% superior aos dos sistemas de embalagem original e cúbico, respetivamente. Assim, no que remete aos impactos ambientais, este estudo demonstra que os sistemas de embalagem original e cúbico

apresentam menores impactos ambientais, a nível global, quando comparados com o sistema de embalagem com *design* empilhável.

O estudo de ACV feito por Cleary (2013) teve como objetivo averiguar se as embalagens mais leves e retornáveis são alternativas às garrafas de vidro convencionais *one-way* para vinhos e bebidas espirituosas, de modo a reduzir os impactos ambientais. Assim, compararam-se os potenciais impactos de ciclo de vida de cinco tipos de embalagens de vinho de 1 L e de quatro tipos de embalagens de bebidas espirituosas de 750 mL. Foram avaliados quatro sistemas alternativos de embalagem (incluindo o recipiente, sistema de fecho, cápsula e rotulagem): garrafas de vidro *one-way* mais leves, garrafas de vidro retornáveis, garrafas PET e embalagens de cartão assético (este último sistema de embalagem foi apenas considerado para embalagens de vinho). Estes sistemas de embalagem podem ser encarados como substitutos, pois são equivalentes na sua funcionalidade. Todavia, é de realçar que não são substitutos perfeitos uns dos outros: as bebidas espirituosas têm um teor alcoólico mais elevado do que o vinho e, por norma, demoram mais tempo a ser consumidas, fator que afeta os requisitos da embalagem. Os vinhos vintage são armazenados durante longos períodos de tempo antes de serem consumidos; ao contrário das garrafas de vidro, as embalagens de cartão assético e as garrafas PET não são embalagens com características adequadas para armazenamento de longa duração de vinho nem de bebidas espirituosas. Foi utilizado o *software* SimaPro 7.2 e o método aplicado para proceder à comparação dos sistemas de embalagem foi o ReCiPe v1.02. Os dados para a elaboração deste estudo foram obtidos através de produtores, de literatura e da base de dados ecoinvent. Os resultados demonstraram que o impacto ambiental do ciclo de vida de cada embalagem reflete-se na massa relativa da mesma, com exceção da garrafa de vidro retornável. Esta e as embalagens de cartão assético demonstraram ter o menor potencial de impacto ambiental e são responsáveis por uma redução de até 87% dos impactos ambientais comparativamente a uma garrafa de vidro convencional *one-way*. A performance ambiental dos sistemas de embalagem é muito sensível ao transporte (distância de distribuição); ao reduzir as distâncias médias, a performance ambiental das embalagens mais pesadas é melhorada em relação às mais leves. Dado não haver evidências do aumento substancial de quebras de garrafas mais leves, a substituição das garrafas de vidro convencionais por garrafas de vidro mais leves só traria benefícios para o ambiente e para a saúde humana. No que remete às garrafas retornáveis, reduzir os impactos associados à embalagem secundária (para as embalagens de vinho) e/ou aumentar o número médio de reutilizações da garrafa, resultaria num sistema de embalagem

retornável com impactos muito mais reduzidos do que qualquer uma das outras alternativas de embalagem.

O objetivo da ACV realizada por Odabasi e Buyukgungor (2016) foi comparar o impacto ambiental de uma garrafa PET com o de uma garrafa de vidro. A fronteira do sistema inclui o transporte das matérias-primas e combustíveis e todas as etapas de processamento até que o produto seja entregue ao cliente; as cápsulas da garrafa não estão incluídas na fronteira do sistema. Nesta ACV, assumiu-se que o descarte era feito em aterro. A análise de inventário, cenários de descarte, avaliação e comparação de sistemas foram realizados com o *software* SimaPro 8.0.1, utilizando o método Eco-Indicator 99. O sistema foi avaliado de um ponto de vista global, utilizando os indicadores de saúde humana, qualidade dos ecossistemas e recursos. Os dados foram obtidos diretamente pelo produtor e pela base de dados do *software* e literatura. Os resultados demonstraram que, no geral, as garrafas PET apresentam menor impacto ambiental do que as garrafas de vidro. Estas têm consumos energéticos elevados ao longo da fase de produção e custos de transporte mais elevados do que os das garrafas PET.

O estudo de ACV realizado por Simon *et al.* (2016) baseou-se num modelo genérico de um projeto Húngaro realizado pelo governo relativo a uma diretiva nacional de resíduos de embalagens de bebidas. Nesta ACV foram analisados cinco materiais de embalagem no que respeita à variação de volume: 1) latas de alumínio de 0,5 L e 0,33 L; 2) garrafas PET de 0,5 L, 1,0 L, 1,5 L e 2,0 L (para os cenários *one-way* e retornável); 3) garrafas de cartão de 1,0 L; 4) garrafas de PLA de 1,5 L; 5) garrafas de vidro de 0,33 L e de 0,5 L (para os cenários *one-way* e retornável). Foi também focada a fase de recolha das embalagens, na qual foram colocadas quatro possibilidades — 1) recolha nos supermercados após os consumidores transportarem as embalagens vazias até ao local; 2) recolha das embalagens em pontos de recolha num *big bag* após os consumidores transportarem as embalagens vazias até ao local; 3) recolha de *big bags* ao domicílio; 4) método de compressão térmica (tanto realizado em casa como em supermercados) —, assumindo o seguinte grau de compressão das garrafas: PET e PLA comprimidas para metade do seu volume, cartão e alumínio para 1/8 do seu volume e assumiu-se que as garrafas de vidro eram comprimidas para um volume mínimo (quebra) de 1/1,5 do seu volume. As fronteiras do sistema incluem todo o ciclo de vida das garrafas, sendo o foco principal o sistema de recolha de garrafas pós-consumo, sendo que, a montante, o sistema

engloba a produção e distribuição e, a jusante, o tratamento de resíduos. Os dados da produção das garrafas, materiais como alumínio, PET, vidro,

e papel bem como os modelos de emissões dos veículos (transporte) foram obtidos através das bases de dados ecoinvent e NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), ambas disponíveis no *software* GaBi. Foi empregue o método CML-IA (2010) para proceder à comparação dos diferentes sistemas e utilizou-se o EcoIndicator 99 para proceder à análise de sensibilidade. Determinou-se que os fatores que mais influenciam a performance ambiental das embalagens de bebidas são: 1) rácio peso-volume: as embalagens maiores são mais eficientes devido ao menor peso específico; 2) reciclabilidade dos materiais de embalagem: com o aumento das quantidades recicláveis, a produção de materiais secundários aumenta; 3) eficiência da logística; 4) compressibilidade ou grau de compressão das embalagens antes da recolha seletiva. Determinou-se que o processo de produção é a fase do ciclo de vida que mais contribui para o impacto ambiental. As embalagens de vidro e de alumínio geram o maior impacto no que remete às emissões de GEE. Relativamente à reciclagem, os materiais de embalagens de bebidas mais promissores são o vidro e o alumínio, seguidos do PET e do cartão. No que diz respeito aos sistemas de recolha, o vidro *one-way* tem maior impacto em todas as categorias de impacto analisadas. Apesar de as diferenças entre a recolha nos supermercados, em pontos de recolha em *big bags* ou recolha ao domicílio em *big bags* serem mínimas, para garrafas de menor peso, em alguns casos, a combinação do tipo de recolha e do tipo de garrafa pode ser um parâmetro decisivo. Verificou-se que a reutilização de garrafas traz vantagens ambientais e, devido à menor necessidade de produção de garrafas, os impactos relativamente aos GEE das garrafas retornáveis são menores do que os impactos das garrafas *one-way*. Destaca-se, também, a importância de promover a compressão das embalagens antes da recolha seletiva tal como foi evidenciado pela embalagem de cartão que tinha o mesmo rácio massa:volume que a de PET, mas, dado o maior rácio de compressão, apresentou menor potencial de impacto na fase de recolha. Dado o elevado número de variáveis deste estudo, não foi possível identificar a melhor opção somente através de uma ACV generalizada.

Del Borghi *et al.* (2018) procedeu ao estudo de ACV de cinco sistemas diferentes produto/embalagem com o objetivo de determinar os *hotspots* ao longo das etapas do ciclo de vida incluídas na fronteira do sistema e de realçar a relevância do *eco-design* para diminuição dos impactos ambientais. Foi analisado um conjunto de leguminosas — ervilha, feijão e grão-

de-bico — e procedeu-se à comparação de diferentes opções de embalagem, tendo-se procedido à alteração dos materiais constituintes da embalagem, do formato da embalagem e das taxas de reciclagem. Os cinco sistemas são constituídos por cinco produtos diferentes — ervilha, ervilha cozinhada a vapor, feijão *borlotti*, feijão *cannellini* e grão-de-bico. Os produtos são embalados em recipientes de vidro ou em latas de aço e estanho. As fronteiras do sistema incluem as fases de cultivo, de produção dos materiais de embalagem, do processamento das leguminosas e os processos de fim de vida. A fase de consumo e do descarte das embalagens secundárias e terciárias não estão incluídas na fronteira do sistema. Os dados foram obtidos ou diretamente por contacto com produtores ou através da base de dados ecoinvent v3.1. As categorias de impacto focadas nesta ACV foram as seguintes: necessidade de energia não-renovável, potencial de aquecimento global, índice de escassez de água, toxicidade humana e ecotoxicidade aquática. Para avaliar a necessidade de energia não-renovável foi aplicado o método Necessidade de Energia Cumulativa (*Cumulative Energy Demand*); o potencial de aquecimento global foi calculado através de fatores retirados do quinto relatório IPCC; o índice de escassez de água é baseado no rácio consumo:disponibilidade, calculado pela fração entre a água consumida e a água disponível; por último, os índices de toxicidade foram determinados através do modelo USES-LCA. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que as ervilhas cozinhadas a vapor apresentam o maior impacto ambiental para todas as categorias de impacto. As fases do ciclo de vida que mais contribuem com impactos para o ambiente são a da produção da embalagem e a de cultivo. O maior contribuidor para o aquecimento global é a produção da embalagem, contribuindo com 70% dos impactos, devido às elevadas quantidades de energia não-renovável utilizada na produção dos materiais de embalagem (vidro e aço); segue-se o processamento das leguminosas (13% dos impactos) e a fase de cultivo (10% dos impactos). A produção dos materiais de embalagem é, também, a fase que mais contribui para o índice de escassez de água (59% a 87%) e para a toxicidade (63%). Relativamente às alternativas para minimizar os impactos ambientais associados à embalagem, os cenários contemplados foram: escolha de materiais de embalagem que não requeiram tanta energia para a sua produção (como por exemplo, cartão e plástico), alterar o formato da embalagem ou utilizar formatos maiores de embalagem. Verificou-se que a alteração do formato ou do material podem ser medidas essenciais para reduzir impactos ambientais: observou-se que a redução do peso da embalagem reduziu os impactos ambientais em 15%, a aplicação de soluções inteligentes de embalagem como a utilização de um sistema de fecho inteligente contribuiu para a redução de 3% dos

impactos e a preferência por materiais de cartão ou plástico em alternativa ao vidro contribuiu para uma redução do impacto ambiental em 85% e 61%, respetivamente. Também foi investigado o efeito da variação das taxas de reciclagem para analisar quais os benefícios decorrentes da substituição de materiais virgens; verificou-se que a redução de 1% na taxa de reciclagem é equivalente à redução de 1,4% do potencial de aquecimento global.

O estudo levado a cabo por Cabot *et al.* (2019) teve como objetivo analisar os impactos ambientais de uma embalagem rígida de plástico (bicamada de PET e PEAD) inteligente cujo propósito é armazenar fruta num frigorífico comum. Esta embalagem monitoriza a quantidade de etileno emitida pela fruta durante o seu amadurecimento, informando os consumidores, via *Bluetooth*, que a fruta atingiu o amadurecimento ótimo para consumo, prevenindo, assim, o desperdício da fruta. Esta embalagem foi idealizada para ser transportada de casa para o supermercado no momento das compras, o que reduz a quantidade de embalagens e de sacos de plástico normalmente utilizados. As fronteiras do sistema incluem o transporte e extrusão do PET e do PEAD granulado, a co-extrusão dos laminados obtidos, a termoformagem da embalagem, a conexão dos sensores na embalagem, a distribuição das embalagens no território espanhol, a utilização das embalagens e a análise das possibilidades de descarte no fim de vida útil. Relativamente a esta última fase, o plástico multicamada não é reciclável pelo que os cenários iniciais incluem apenas as possibilidades de incineração ou descarte em aterro. Dado que o PET não se degrada em aterro (e visto que não ocorre degradação de compostos orgânicos em aterro devido ao ambiente anaeróbio) este cenário deixa de ser uma opção viável. Assim, a possibilidade de fim de vida útil da embalagem inteligente envolve a incineração com recuperação de energia. Para realizar esta ACV foi utilizado o *software* SimaPro e o método EcoIndicator 99; os dados utilizados são de carácter primário. As categorias de impacto analisadas foram as seguintes: carcinogenicidade, compostos respiratórios orgânicos e inorgânicos, alterações climáticas, radiação, depleção da camada de ozono, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, utilização dos solos, recursos minerais e fósseis. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que os componentes do sistema de embalagem inteligente são responsáveis pelo maior impacto ambiental para todas as categorias de impacto analisadas. A categoria com maior impacto é a que engloba as categorias de impacto relacionadas com o consumo de recursos (devido aos plásticos PET e PEAD); este impacto elevado baseia-se no facto de estas matérias-primas não serem renováveis. Segue-se a categoria que reúne as categorias de impacto relacionadas com o bem-estar humano na qual os componentes

eletrônicos do sistema inteligente apresentam um impacto elevado. A terceira e última categoria envolve as categorias de impacto relacionadas com a qualidade dos ecossistemas e apresenta valores de impacto muito inferiores aos das duas outras categorias anteriormente mencionadas. O impacto total mais elevado, comum a todas as categorias, é causado pelo PET, seguindo-se do sensor e do microcontrolador (componentes do sistema de embalagem inteligente). Deste modo, concluiu-se que os sistemas de embalagem inteligente são uma opção viável para minimizar o desperdício alimentar. É, também, de notar que, contrariamente ao que sucede nas outras ACV da literatura referentes a embalagens não-inteligentes, a fase do transporte não apresenta um impacto ambiental elevado; tal demonstra que, ao adicionar um sistema inteligente à embalagem a carga ambiental é realocada, passando da fase de transporte para a de sistema inteligente.

A metodologia de ACV é também utilizada para avaliar o impacto de produtos alimentares bem como a sua produção, sendo alguns exemplos de referências: Roy *et al.* (2009) — é realizado um levantamento de resultados de ACV de alguns produtos alimentares, tais como produtos alimentares industriais, produtos lácteos, carne e produtos agrícolas —, Nilsson *et al.* (2010) — aplicação da metodologia de ACV para comparar o consumo de manteiga e de margarina no Reino Unido, Alemanha e França —, Point *et al.* (2012) — utiliza-se a ACV para determinar os impactos ambientais relativos à produção e ao consumo de vinho em Nova Escócia, no Canadá —, Neto *et al.* (2013) — a ACV é aplicada para determinar os impactos ambientais associados à cadeia de fornecimento de um vinho português —, Manfredi e Vignali (2014) — aplicação da ACV para comparar os impactos ambientais decorrentes de diferentes fases de produção de um puré de tomate enlatado —, Pandelieva (2014) — aplicação da metodologia de ACV para assegurar a produção sustentável de vinho —, Ingrao *et al.* (2019) — ACV realizada a um puré de tomate da região do Mediterrâneo.

A influência dos atributos do *design* da embalagem no consumidor é também alvo de estudo, sendo destacado o modo como os materiais utilizados e a componente gráfica influenciam a perceção de sustentabilidade da embalagem e o valor do produto (Draskovic *et al.*, 2011; Wikström *et al.*, 2014; Steenis *et al.*, 2017).

É de notar que a maior parte dos estudos já realizados no setor das embalagens foca a avaliação dos impactos ambientais da embalagem, sem considerar o impacto do produto (Pasqualino *et al.*, 2011). É importante referir que a credibilidade dos resultados obtidos numa

ACV é proporcional à fiabilidade dos dados utilizados e à correta definição de fronteiras do sistema.

Assim, como é possível constatar pelos variados estudos de ACV já efetuados na área, é possível afirmar que esta metodologia é adequada para avaliar diferentes etapas do ciclo de vida de produtos bem como proceder a comparações de alternativas de *design* de embalagens alimentares; como tal, é adequada para estudar o impacto ambiental inerente às diferentes possibilidades de decoração de uma embalagem, que é o que se pretende avaliar no presente trabalho.

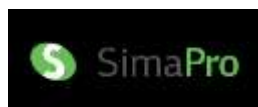
Outra metodologia que também é frequentemente empregue para avaliar os impactos ambientais não só de embalagens como também de produtos alimentares é a pegada de carbono (PC). A PC quantifica o impacto que uma entidade, atividade humana ou produto tem no ambiente em termos de emissões de gases de efeito de estufa, expresso em unidades de dióxido de carbono equivalente, sendo, assim, uma forma das organizações e indivíduos poderem determinar a sua contribuição para as alterações climáticas. Diversos estudos baseiam-se nesta metodologia para determinar o impacto de diferentes etapas do ciclo de vida de produtos alimentares: Pasqualino *et al.* (2011) estuda a PC associada à seleção de embalagens de bebidas e seu descarte; Rugani *et al.* (2013) procedeu à análise de PC como indicador ambiental no sector vinícola; Vázquez-Rowe *et al.* (2013) estuda as variações da PC no setor vinícola europeu; Ingrao *et al.* (2015) utiliza a metodologia para avaliar os impactos ambientais relativos a embalagens para alimentos frescos; Bonamente *et al.* (2016) avalia os impactos ambientais associados a uma garrafa de vinho italiano através da PC e da pegada de água (PA) — a PA não é um indicador tão utilizado como a pegada de carbono; baseia-se na análise de recursos de água associados ao ciclo de vida de um produto —; Roibás *et al.* (2018) aplica a PC para estudar os impactos ambientais associados à cadeia de fornecimento de sumo maltês.

2.2. *Softwares*, bases de dados e métodos

Nos pontos que se seguem, são apresentados os principais *softwares*, bases de dados e métodos utilizados em ACV.

2.2.1. *Softwares*

Para a maioria das ACV estudadas, o *software* utilizado foi o SimaPro (Zabaniotou e Kassidi, 2003; De Monte *et al.*, 2005; Banar e Çokaygil, 2009; Humbert *et al.*, 2009; Cleary, 2013; Odabasi e Buyukgungor, 2016; Cabot *et al.*, 2019).



O SimaPro é o líder dos *softwares* de ACV, sendo o mais utilizado a nível mundial. Foi desenvolvido pela PRé Sustainability, na Holanda, há 25 anos atrás, com o objetivo de fazer da sustentabilidade um empreendimento baseado em factos. A credibilidade deste *software* é reconhecida pelas indústrias e pelo mundo académico. Possui as bases de dados e os métodos mais recentes, o que contribui para a fiabilidade dos resultados obtidos, permitindo tomar decisões com maior grau de certeza. Esta ferramenta permite sustentar uma decisão através de uma ACV, sendo, assim, possível fazer uma escolha consciente. Com este *software* é possível recolher, analisar e monitorizar os dados relativos à sustentabilidade de produtos de uma organização. Pode ser utilizado para fazer diversas análises, tais como relatórios de sustentabilidade, pegada de carbono e de água, *design* do produto, gerar declarações ambientais de um produto e determinar indicadores chave de performance. Assim, torna-se possível criar modelos e analisar ACV complexas de uma forma mais clara e sistemática, determinar o impacto ambiental de um dado produto ao longo de cada etapa do seu ciclo de vida e identificar os *hotspots* em cada fase da cadeia de fornecimento, desde a extração das matérias-primas à manufatura, distribuição, utilização e descarte.



O *software* GaBi foi desenvolvido pela thinkstep (Sphera company), há cerca de 30 anos atrás. Suporta diversas aplicações, desde avaliações de ciclo de vida e levantamento de custos de ciclo de vida a relatórios de ciclo de vida. No que diz respeito à ACV, o GaBi foca no *design* para o ambiente (desenvolvimento de produtos que vão ao encontro da legislação ambiental), na eco-eficiência (redução de matérias-primas, energia e recursos), no eco-*design* (desenvolvimento de produtos com menor pegada ecológica: menores emissões de GEE, redução do consumo de água e minimização de desperdícios) e na eficiência das cadeias de valor (aumentar a eficiência das cadeias de valor: investigação e desenvolvimento, *design*, produção, fornecimento e distribuição). No que remete aos custos de ciclo de vida, este *software* tem como objetivo projetar e otimizar produtos e processos que reduzam os custos inerentes ao ciclo de vida. Quanto aos relatórios de ciclo de vida, estes baseiam-se no marketing sustentável de produtos, na elaboração de relatórios de sustentabilidade ambiental e na partilha e análise de conhecimento dentro dos departamentos

de uma organização. Para além das bases de dados mais utilizadas, possui a sua própria base de dados e um serviço especializado de prestação de dados.



O *software* umberto foi criado pelo ifu hamburg (*Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH*). É, também, um dos líderes em ACV e é recomendado por profissionais da indústria, consultadoria, educação e investigação. Este *software* permite realizar pegada de carbono, pegada ecológica, ACV para determinar todos os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de um produto e determinar o custo de ciclo de vida com uma avaliação ecológica integrada de modo a fornecer decisões eco-eficientes. Disponibiliza as bases de dados mais utilizadas. Permite uma fácil integração dos dados primários, sendo possível conectar o *software* com o Excel e com o sistema SAP.



O openLCA é um *software* criado pela GreenDelta, em 2007, na Alemanha. É completamente gratuito e de acesso livre. É utilizado na indústria, universidades, consultorias, organizações não-governamentais e centros de desenvolvimento e investigação. Permite realizar ACV, determinar custos de ciclo de vida e pegada de carbono e disponibiliza as bases de dados mais utilizadas.

2.2.2. Bases de dados

A base de dados mais empregue nas ACV estudadas é a ecoinvent (Humbert *et al.*, 2009; Cleary, 2013; Simon *et al.*, 2016; Del Borghi *et al.*, 2018), apesar d existirem outras.



A ecoinvent é uma base de dados suíça. Há mais de 20 anos que é utilizada na metodologia de ACV e possui uma compilação de dados de ICV para vários setores industriais. Desde de 2003 que a ecoinvent permitiu às organizações uma produção mais amiga do ambiente, contribuiu para a implementação de legislação e incentivou os consumidores a adotarem comportamentos mais respeitosos para com o ambiente. A ecoinvent é utilizada em estudos de ACV, em declarações ambientais de produtos, no *design* ambiental e na pegada de carbono.



A base de dados NREL U.S. LCI Integrated foi criada pela NREL e os seus parceiros. Fornece dados de *inputs* e *outputs* de energia e materiais

associados ao ciclo de vida de um dado produto, nos Estados Unidos. Os objetivos desta base de dados consistem na qualidade e transparência de dados, abordar os materiais, produtos e processos (com base geográfica nos Estados Unidos da América), apoiar a ACV como uma ferramenta de decisão de carácter ambiental, manter a compatibilidade com bases de dados internacionais e apoiar a competitividade da indústria dos Estados Unidos da América.



A base de dados Environmental Footprint, EF, pertence à Comissão Europeia e foi desenvolvida por Blonk Consultants, CEPE, Cycleco, ecoinvent, FEFAC, FEVE, GreenDelta, maki Consulting, PRé Sustainability, Quantis, RDC e thinkstep. Foi projetada para apoiar a implementação dos estudos da Pegada Ambiental de Produtos (PEF — *Product Environmental Footprint*) e da Organização da Pegada Ambiental. Contém dados de inventário de ciclo de vida e métodos de avaliação de impacto.



A base de dados GaBi foi criada pela thinkstep e o seu desenvolvimento começou há mais de 30 anos, estendendo-se até aos dias de hoje com a mesma atenção ao detalhe. Os dados são atualizados anualmente, fornecendo aos utilizadores os dados de ICV e as metodologias de impacto mais atuais.



A base de dados JRC (*Joint Research Centre*) pertence à Comissão Europeia e constitui uma compilação de bases de dados e ferramentas de livre acesso.



A agri-footprint foi criada em 2014 e é uma base de dados de elevada qualidade para ICV destinados à agricultura e setor alimentar. O objetivo desta base de dados é facilitar a transparência e contribuir para a maior sustentabilidade associada às cadeias de fornecimento alimentares.

2.2.3. Métodos de avaliação de impacto

O método de avaliação de impacto mais utilizado nos artigos de ACV estudados é o EcoIndicator 99 (Banar e Çokaygil, 2009; Odabasi e Buyukgungor, 2016; Simon *et al.*, 2016; Cabot *et al.*, 2019).

Eco-Indicator 99: Este método foi, tal como o ReCiPe, criado por PRé Consultants. É dos métodos de avaliação de impacto mais utilizados e tem como objetivo comparar produtos.

CML 2001: O CML (*Centrum voor Milieukunde Leiden*) é um método de avaliação de impacto desenvolvido pelo Instituto de Ciências Ambientais, da Universidade de Leiden, na Holanda. Este método restringe modelos quantitativos a fases iniciais do ciclo de vida de modo a limitar as incertezas; os resultados são agrupados em categorias de impacto.

EDIP 2003: O método EDIP (*Environmental Development of Industrial Products*) foi desenvolvido pelo Instituto de Desenvolvimento de Produtos, na Universidade Técnica da Dinamarca. Este método tem em consideração as características do ambiente do estudo de modo a aumentar a relevância dos impactos calculados.

IMPACT 2002+: Este método sugere a implementação de uma abordagem combinada de categorias de impacto/ categorias de dano. Estas combinações vão ligar todos os resultados obtidos no ICV através das catorze categorias de impacto que findam em quatro categorias de danos.

ReCiPe: Este método foi desenvolvido por RIVM (Instituto Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente da Holanda), CML, PRé Consultants e Universidade de Radboud Nijmegen (Holanda), em 2008. O grupo de autores inclui os que desenvolveram os métodos CML 2001 e Ecoindicator 99 e o *software* SimaPro. O método ReCiPe pode ser encarado como a fusão dos dois métodos — CML 2001 (categorias de impacto) e Ecoindicator 99 (categorias de danos).

TRACI: Este método (*Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts*) foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América. O TRACI pretende ser uma ferramenta útil na avaliação de impactos para a sustentabilidade, nas avaliações de ciclo de vida, na ecologia industrial, *design* de processos e prevenção da poluição do meio ambiente.

IPCC: É um método criado pelo Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas que é utilizado para estimar as emissões de GEE.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na elaboração desta tese, foi utilizada, como já referido anteriormente, a metodologia de avaliação de ciclo de vida. Esta avalia os aspetos e potenciais impactos ambientais associados a um produto, realizando um inventário de todos os *inputs* e *outputs* e interpretando os resultados de acordo com os objetivos definidos. A metodologia foi aplicada de acordo com a ISO 14040:2006 e a ISO 14044:2006.

3.1. Recolha de dados e *software*

Os dados primários foram obtidos por contacto direto com a empresa BA Glass, fornecedora da SFE; os dados secundários foram adquiridos através da base de dadosecoinvent versão 3.4, disponível no *software* utilizado, SimaPro versão 8.5. Estes dados foram selecionados pelo modelo *cut-off* que se baseia no conteúdo de reciclados: a produção primária de materiais é sempre alocada ao primeiro utilizador desses materiais; os materiais recicláveis estão disponíveis para integrar o processo de reciclagem sem quaisquer custos e os materiais reciclados pela segunda vez apenas apresentam os impactos do processo de reciclagem.

Relativamente à eletricidade, foi utilizado um modelo representativo de Portugal disponível na base de dados; quanto ao gás natural, foi utilizado um modelo representativo da Suíça (que já inclui o transporte do gás natural) dado que era a única opção disponível na base de dados utilizada; no que remete ao transporte, às matérias-primas e aos resíduos de cartão e de PE foram utilizados modelos globais que representam uma média válida para todos os países do mundo, pois, não havendo um modelo representativo de Portugal, esta opção era a que acarretava menor incerteza; no que diz respeito aos resíduos de PET, o destino final é incineração com recuperação de energia e foi utilizado um modelo representativo da Europa sem considerar a Suíça.

3.2. Especificações da garrafa e das matérias-primas

3.2.1. Características da garrafa

A decoração é aplicada numa garrafa de vidro verde escura Cockburn's 75 cL de, aproximadamente, 585 g. Tal como referido anteriormente, é de notar que a mancha gráfica das alternativas de decoração por aplicação de *sleeve* e por pintura e serigrafia é semelhante, contrariamente à mancha gráfica da decoração por serigrafia que é menor do que a das outras alternativas.

3.2.2. Características das tintas de pintura e de serigrafia

Com base nos protótipos já elaborados, estimou-se que a quantidade de tinta utilizada para o processo de pintura é de 8 g no total (a garrafa é pintada duas vezes de modo a ser possível obter uma cor branca mais opaca e definida, pelo que são aplicados 4 g de tinta por pintura) e para o processo de serigrafia é de 3 g de tinta, pelo que, para uma garrafa pintada e serigrafada, são utilizados 11 g de tinta no total. É importante referir que no processo de serigrafia são utilizadas quatro tintas de cores diferentes: azul clara, azul escura, dourada e preta; já no processo de pintura é apenas utilizada a tinta de cor branca. As quantidades necessárias de tinta para cada tipo de decoração podem ser consultadas no apêndice A3 (A3.2).

Tanto a serigrafia como a pintura são, neste caso, realizadas com tintas cerâmicas (inorgânicas). Após serem aplicadas, as tintas cerâmicas são curadas em forno cerâmico a temperaturas elevadas, acima dos 520 °C, durante, aproximadamente, 2,5 horas. O seu aquecimento e arrefecimento deve ser feito lentamente para que não ocorra choque térmico na peça. Estas tintas são constituídas à base de sílica e de corantes de óxidos metálicos. Apresentam elevada resistência mecânica e química e excelente acabamento. O processo é dispendioso devido ao elevado consumo energético proveniente das temperaturas elevadas e do equipamento necessário.

3.2.3. Características do *sleeve*

Relativamente ao *sleeve*, este é composto por plástico PET (politereftalato de etileno), um termoplástico muito utilizado em aplicações para embalagens alimentares. O *sleeve* é aplicado na garrafa, por ação de calor sob a forma de vapor de água, sendo ajustado à garrafa (retratiliza).

O *sleeve* tem uma área total de cerca de 710 cm², sendo que a mancha gráfica corresponde a cerca de 23 % da sua área total e a mancha de tinta branca corresponde a, aproximadamente, 77 % da área total.

4. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E DO ÂMBITO DA ACV E DA UNIDADE FUNCIONAL

4.1. Objetivos

Esta avaliação de ciclo de vida teve como objetivo principal comparar o impacto ambiental de três alternativas de decoração de uma garrafa de vidro de vinho do Porto Cockburn's 75 cL — sleeveada, serigrafada ou pintada e serigrafada. É de notar que a produção da garrafa não é alvo de análise uma vez que é um elemento comum às alternativas estudadas.

Como objetivos secundários da presente avaliação, destacam-se:

- Obter um estudo representativo da realidade dos impactos de cada tipo de decoração no ambiente;
- Verificar o impacto causado no ambiente decorrente destes tipos de processos de decoração;
- Estudar e analisar os processos de sleeveagem, serigrafia e pintura.

4.2. Âmbito

O âmbito geográfico desta ACV refere-se a Portugal. Para realizar esta avaliação de ciclo de vida, começou-se por identificar os *inputs* e *outputs* do sistema (a nível de energia, matérias-primas, resíduos e emissões gasosas para cada fase do processo de decoração), tendo-se delimitado as fronteiras do mesmo, como descrito de seguida em 4.2.1. Posteriormente, determinaram-se os impactos ambientais relativos a cada *input* e *output* de cada processo e, finalmente, procedeu-se à interpretação dos resultados obtidos.

É de salientar que a garrafa é idealizada, estando o seu projeto a ser estudado, pelo que só existe sob a forma de protótipos. Este estudo serve como base para a escolha da alternativa de decoração com menor impacto ambiental.

4.2.1. Descrição e fronteiras do sistema

A fronteira do sistema representada na Figura 3 inclui as etapas de transporte e de decoração da garrafa (ver pontos 5.1. e 5.2., respetivamente). Os *inputs* remetem para as

entradas no sistema: matérias-primas (*sleeve*, tinta) e energia. Os *outputs* referem-se às saídas do sistema: emissões gasosas, resíduos (quebras de *sleeves*) e a garrafa decorada.

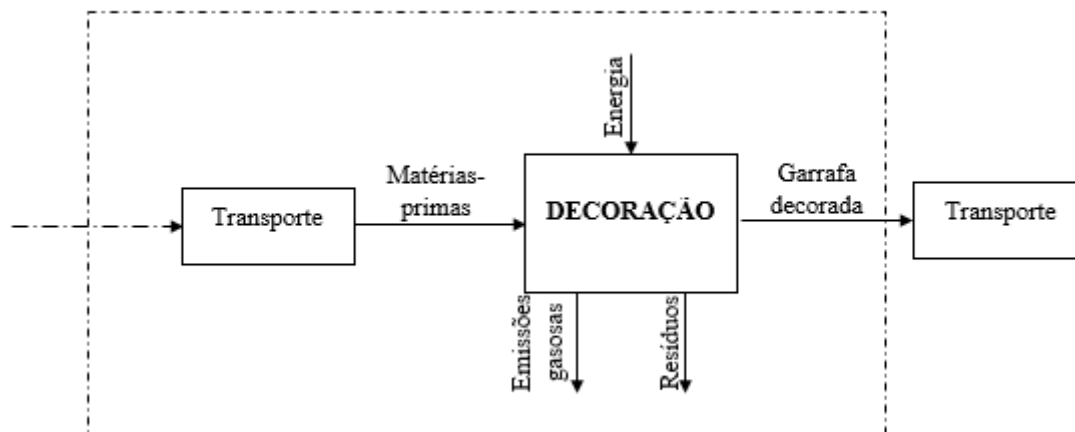


Figura 3 - Esquema ilustrativo da fronteira do sistema

Para as três alternativas de decoração das garrafas, o transporte das garrafas já decoradas é sempre feito de Avintes até à SFE. Para além disso, dado que a garrafa é a mesma para os três tipos de decoração e que a variação do peso é semelhante entre as alternativas ($\Delta P_{\text{garrafa sleeveada}} \approx 5 \text{ g}$; $\Delta P_{\text{garrafa serigrafada}} \approx 3 \text{ g}$; $\Delta P_{\text{garrafa pintada e serigrafada}} \approx 11 \text{ g}$), estabeleceu-se que a etapa de transporte das garrafas decoradas não é incluída na fronteira do sistema.

4.3. Unidade Funcional

Em estudos comparativos, é essencial que os sistemas sejam comparados com base numa função equivalente. (Zabaniotou e Kassidi, 2003)

Assim, de modo a analisar uniformemente as três alternativas de decoração, as comparações foram realizadas com base na unidade funcional que corresponde à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL. Todos os dados foram obtidos para uma base de 120 000 garrafas (volume de produção pretendido pela SFE), tendo sido posteriormente normalizados para a unidade funcional.

5. INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)

5.1. Transporte

5.1.1. Transporte das garrafas

As garrafas são transportadas, em camiões, em paletes, desde Villafranca de los Barros a Avintes ou à Marinha Grande; cada palete contém 1 218 garrafas e pesa 744 kg, sendo dividida em 6 camadas (203 garrafas/camada). Tal como se pode observar pelo esquema da Figura 4, cada camião transporta 26 paletes; no total, é necessário transportar 99 paletes, pelo que o transporte é assegurado por 4 camiões.

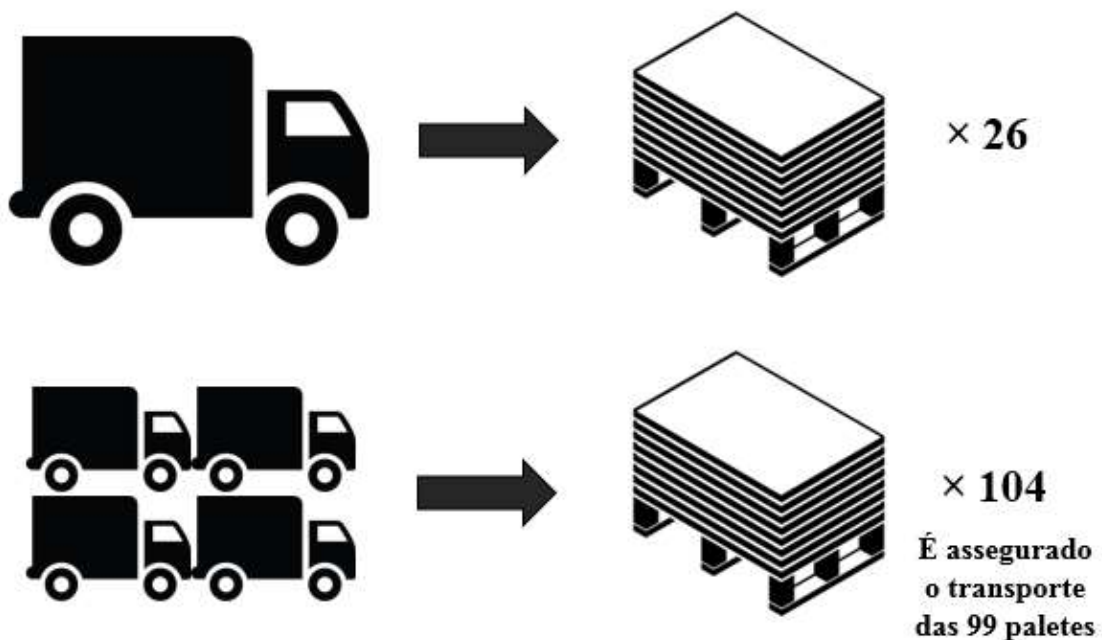


Figura 4 - Esquema ilustrativo do transporte das garrafas

5.1.2. Garrafa com *sleeve*

Os *sleeves* vêm de Barcelona e as garrafas de Villafranca de los Barros, sendo o destino de ambos Avintes (BA Glass), T1 e T2, respetivamente, onde o *sleeve* é aplicado na garrafa; posteriormente, a garrafa sleeveada é transportada para a SFE (T3). De seguida, apresenta-se, na Figura 5, o fluxograma de transporte relativo à garrafa e ao *sleeve*.

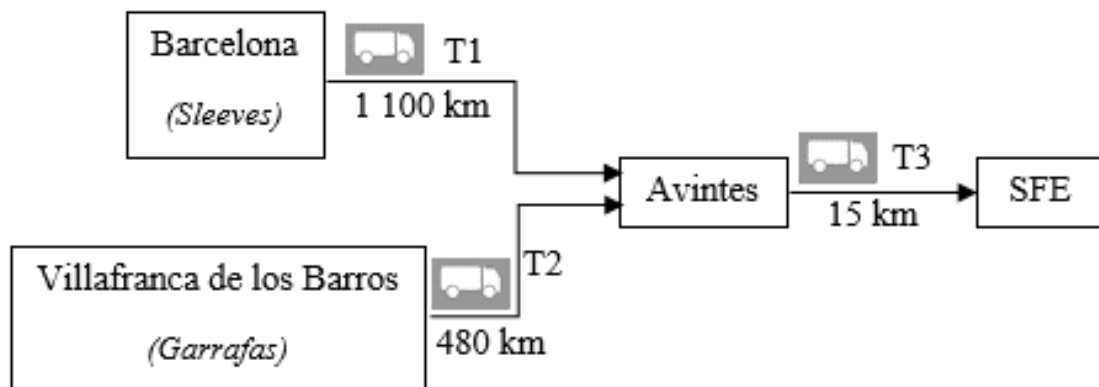


Figura 5 - Fluxograma do transporte das garrafas e dos sleeves. Seja T1: Transporte dos sleeves de Barcelona a Avintes; T2: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros a Avintes; T3: Transporte das garrafas sleeveadas de Avintes à SFE

Os *sleeves* são transportados numa caixa de cartão que tem capacidade para 100 000 unidades. As dimensões da caixa aproximam-se às dimensões de uma paleta por 1 metro de altura (1 m × 1,20 m × 1 m), tendo uma área de superfície de 1,20 m² e ocupando um volume de 1,20 m³. O transporte pode ser realizado ou por camião ou por carrinha, tendo-se assumido para quantificação do impacto ambiental que o transporte é realizado por camião. A Figura 6 ilustra a caixa na qual são transportados os *sleeves* bem como as suas dimensões.

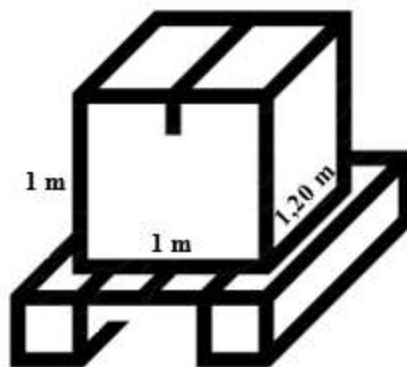


Figura 6 - Ilustração da caixa onde são transportados os *sleeves* com as respetivas dimensões

5.1.3. Garrafa serigrafada

A origem das tintas cerâmicas é Ílhavo e a das garrafas é Villafranca de los Barros, sendo o destino de ambas Avintes (BA Glass), T4 e T5, respetivamente, onde a garrafa é serigrafada; posteriormente, a garrafa serigrafada é transportada para a SFE (T6). Abaixo, na Figura 7, pode-se verificar o fluxograma de transporte relativo à garrafa e às tintas cerâmicas para serigrafia.

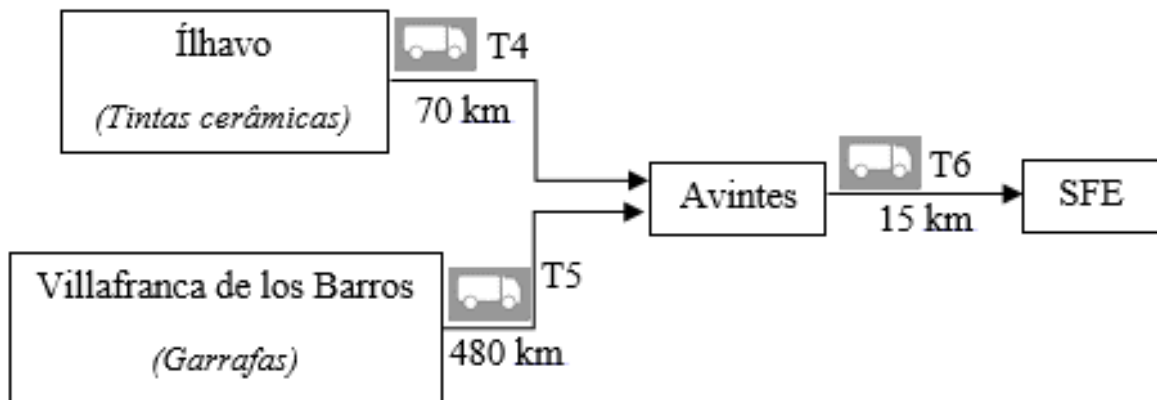


Figura 7 - Fluxograma do transporte das tintas cerâmicas e das garrafas. Seja T4: Transporte das tintas cerâmicas de Ílhavo a Avintes; T5: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros a Avintes; T6: Transporte das garrafas serigrafadas de Avintes à SFE

As tintas cerâmicas são transportadas em caixas de dimensão 39 cm × 29 cm × 39 cm, ocupando uma área de 1 131 cm² e um volume de 44 109 cm³; o peso de cada lata de tinta é de 25 kg. O transporte pode ser realizado ou por camião ou por carrinha, tendo-se assumido para quantificação do impacto ambiental que o transporte é realizado por camião. A Figura 8 ilustra a caixa na qual são transportadas as tintas cerâmicas bem como as suas dimensões.

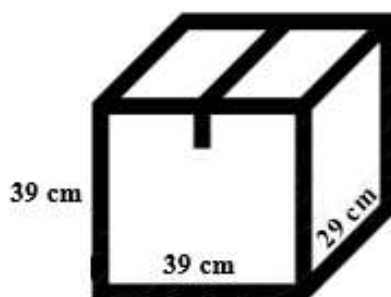


Figura 8 - Ilustração da caixa onde são transportadas as tintas cerâmicas com as respetivas dimensões

5.1.4. Garrafa pintada e serigrafada

Ambas as tintas cerâmicas têm como origem Ílhavo e as garrafas, Villafranca de los Barros, sendo o destino das tintas cerâmicas para pintura e o das garrafas, Marinha Grande, T8 e T9, respetivamente, onde a garrafa é pintada; as tintas cerâmicas para serigrafia têm como destino Avintes (T7). Após pintada, a garrafa segue da Marinha Grande para Avintes (T10) onde vai ser serigrafada. Por fim, a garrafa pintada e serigrafada tem como destino final a SFE (T11). A seguir, a Figura 9 representa o fluxograma de transporte relativo à garrafa e às tintas cerâmicas para serigrafia e pintura.

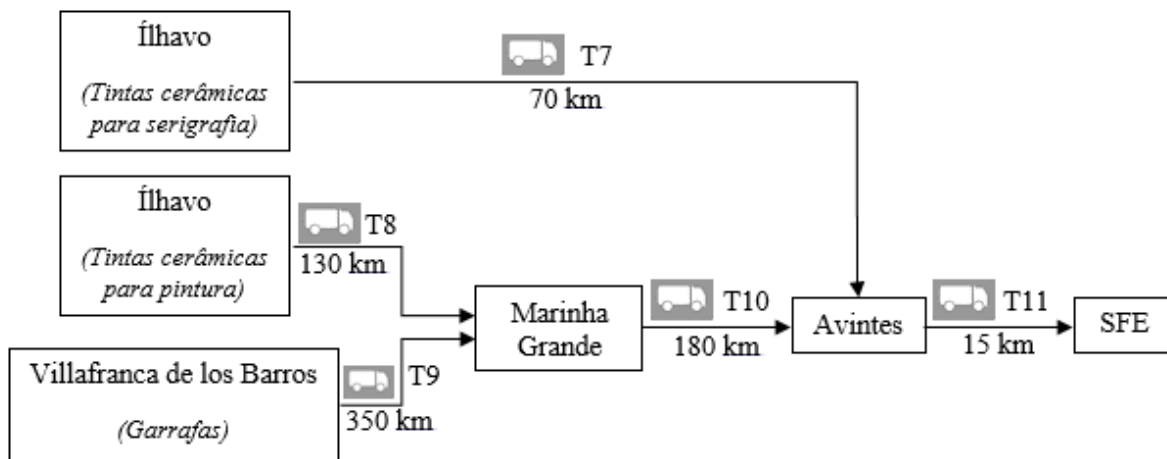


Figura 9 - Fluxograma do transporte das tintas cerâmicas (para serigrafia e para pintura) e das garrafas. Seja T7: Transporte das tintas cerâmicas para serigrafia de Ílhavo a Avintes; T8: Transporte das tintas cerâmicas para pintura de Ílhavo à Marinha Grande; T9: Transporte das garrafas de Villafranca de los Barros à Marinha Grande; T10: Transporte das garrafas pintadas da Marinha Grande a Avintes; T11: Transporte das garrafas pintadas e serigrafadas de Avintes à SFE

O modo de transporte das tintas cerâmicas bem como detalhes de dimensões e peso correspondem aos referidos anteriormente, em 5.1.3.

5.2. Descrição dos processos de decoração da garrafa

5.2.1. Garrafa com *sleeve*

Tal como representado na Figura 10, na linha de sleeveagem, as garrafas começam por ser despaletizadas e passam por um túnel de pré-aquecimento de modo a evitar possíveis choques térmicos e a remover a humidade das garrafas (especialmente no Outono/Inverno quando as temperaturas são mais baixas); seguem para a máquina de aplicação do *sleeve*, na qual o sleeve é cortado e colocado de modo a envolver a garrafa. De seguida, no túnel de retratilização, por ação de calor sob a forma de vapor de água, os *sleeves* são ajustados à garrafa (retratilizam), passando, de imediato, pelo secador de modo a secar as gotículas de água remanescentes. A caldeira que fornece energia ao túnel de retratilização é alimentada a gás natural. Por último, é aplicado um tratamento de superfície a frio — TSF — (pulverização de água com 3% de polietileno) e as garrafas sleeveadas são paletizadas.

Os dados de materias de paletização e consumo energético relativos ao processo podem ser consultados no apêndice A3 (A3.1 e A3.3, respetivamente).

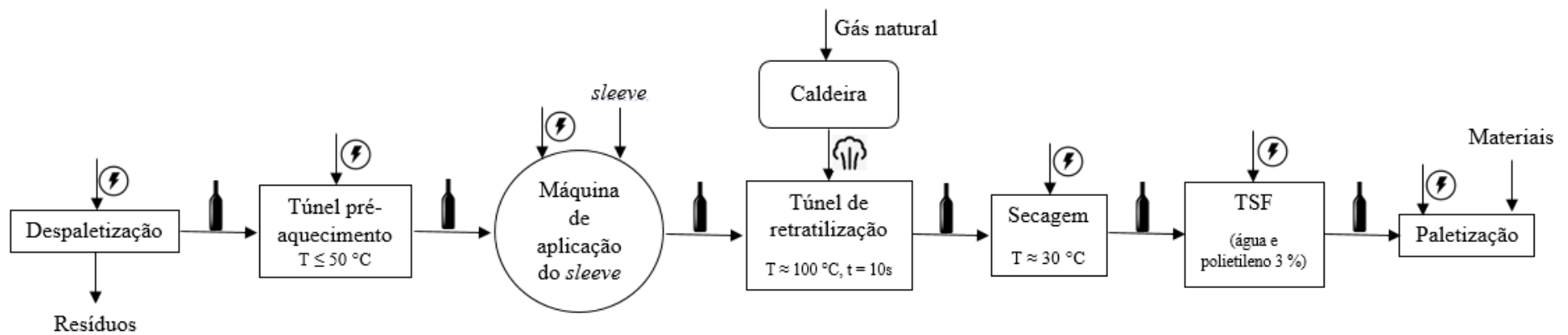


Figura 10 - Fluxograma do processo de aplicação do sleeve

5.2.2. Garrafa serigrafada

Como é possível observar na Figura 11, na linha de serigrafia, as garrafas começam por ser despaletizadas e seguem para máquina de serigrafia na qual cada tinta é aplicada no respetivo ecrã. Posteriormente, as garrafas vão à arca de recozimento e, de seguida, é-lhes aplicado um TSF (pulverização de água com 3% de polietileno). A caldeira que fornece energia à arca de recozimento é alimentada a gás natural. Por fim, as garrafas serigrafadas são paletizadas.

Os dados de materias de paletização, tintas e consumo energético relativos ao processo podem ser consultados no apêndice A3 (A3.1, A3.2 e A3.3, respetivamente).

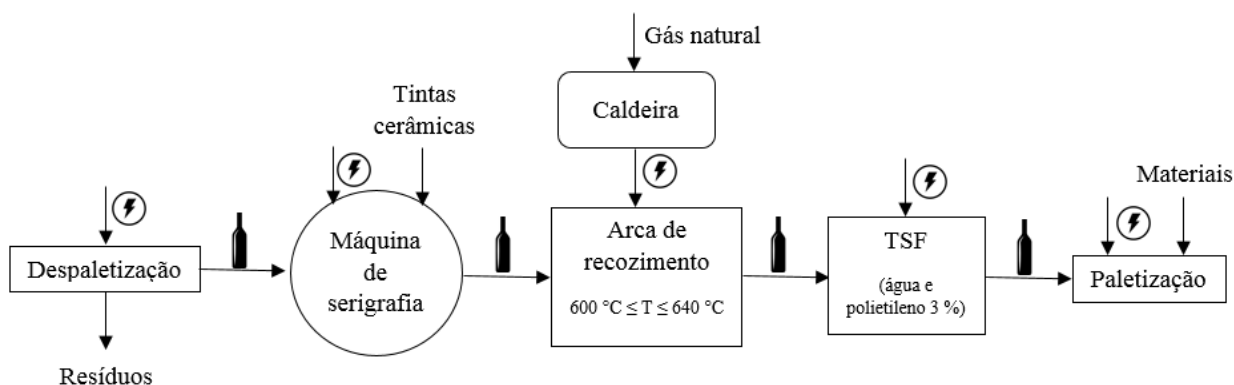


Figura 11 - Fluxograma do processo de serigrafia

5.2.3. Garrafa pintada e serigrafada

Como se pode verificar pela Figura 12, nas instalações da Marinha Grande, na linha de pintura, as garrafas começam por ser despaletizadas e seguem para a máquina de pintura e, posteriormente, para a arca de recozimento, repetindo-se estas duas últimas operações duas vezes. A caldeira que fornece energia à arca de recozimento é alimentada a gás natural. De seguida, é-lhes aplicado um TSF (pulverização de água com 3% de polietileno). Finalmente, as garrafas pintadas são paletizadas e transportadas para Avintes (T10) onde são serigrafadas. O processo de serigrafia é o descrito anteriormente em 5.2.2.

Os dados de materias de paletização, tintas e consumo energético relativos ao processo podem ser consultados no apêndice A3 (A3.1, A3.2 e A3.3, respetivamente).

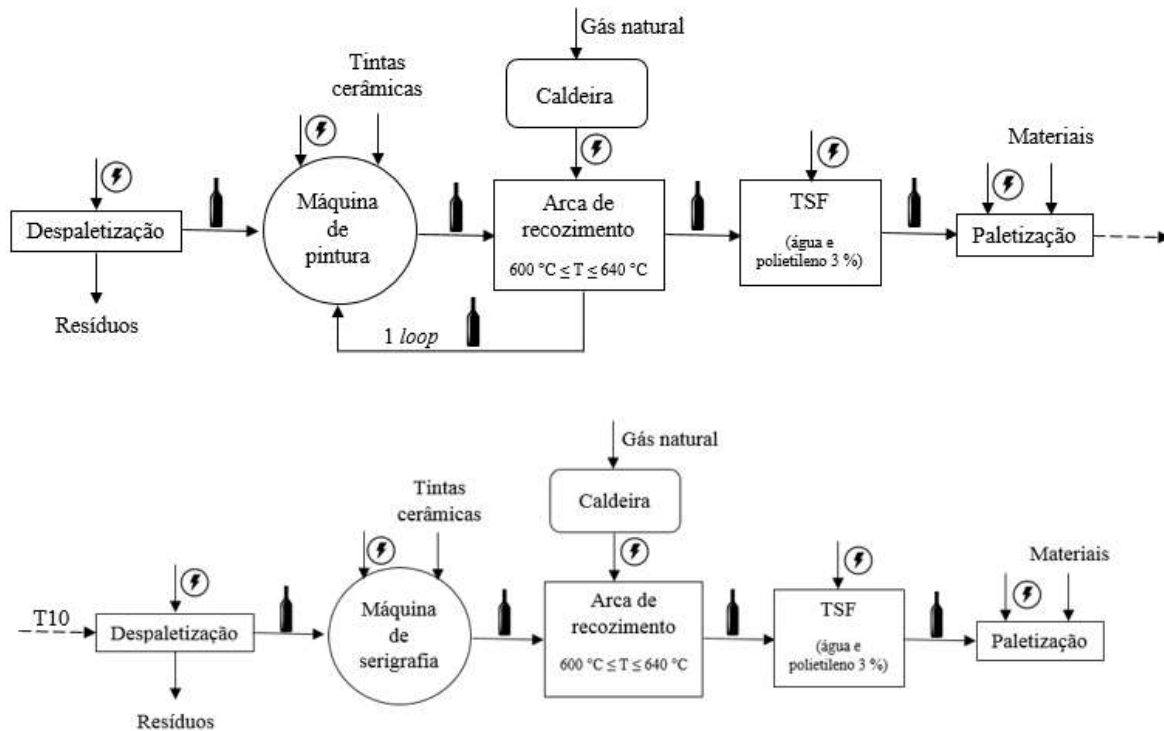


Figura 12 - Fluxograma dos processos de pintura e de serigrafia

5.3. Dados de inventário

Os dados de inventário relativos às matérias-primas — *sleeve* e tintas para os processos de serigrafia e pintura —, consumos energéticos, materiais de paletização e resíduos foram obtidos através da empresa BA Glass. Quanto às emissões, os dados de compostos orgânicos voláteis — COVs — e de óxidos de azoto — NOx — foram também fornecidos pela BA Glass em quantidades anuais, tendo sido, posteriormente, normalizados para a unidade funcional; já as emissões de CO₂ foram calculadas através de dados obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA), com base no fator de emissão e no poder calorífico inferior (ver apêndice A3 (A3.4)). Os dados relativos ao transporte foram obtidos através da base de dados ecoinvent v.3.4 (com base no peso associado à unidade funcional e na distância de transporte) e são apresentados em quilograma quilómetro, com referência global (apresenta uma média válida para todos os países do mundo). Relativamente ao transporte das garrafas foi

selecionado um camião de 16 a 32 toneladas métricas, Euro 3; quanto ao transporte dos *sleeves* e das tintas escolheu-se a opção de camião de 7,5 a 16 toneladas métricas, Euro 4.

As tabelas seguintes (ver Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4) apresentam os dados de inventário para cada alternativa de decoração. Todos os dados são apresentados com base na unidade funcional.

Relativamente aos transportes da garrafa e do *sleeve*, foram utilizados os valores do peso de uma garrafa e de um *sleeve*, respetivamente, e das distâncias apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa com aplicação de sleeve

	Unidades	Quantidades
<i>Inputs</i>		
<i>Sleeve</i>	g	5
Gás natural	m ³	0,0061
Eletricidade	kWh	0,017
PEBD	g	1,1593
Cartão canelado	g	0,2874
Transporte garrafas	kgkm	280,8
Transporte <i>sleeve</i>	kgkm	5,5
<i>Outputs</i>		
Resíduos		
<i>Sleeve</i>	g	0,15
PEBD	g	1,1593
Cartão canelado	g	0,2874
Emissões para o ar		
CO ₂	kg	0,0132
COV	g	0,0047
NO _x	g	0,0066

Quanto aos transportes da garrafa e das tintas, foram utilizados os valores do peso de uma garrafa e da quantidade de tinta necessária para serigrafar uma garrafa, respetivamente, e das distâncias apresentadas na Tabela 3.

É ainda de notar que a base de dados ecoinvent v.3.4 não disponibiliza a opção de tintas cerâmicas pelo que foi selecionada a opção de tinta de impressão.

Tabela 3 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa serigrafada

	Unidades	Quantidades
<i>Inputs</i>		
Tintas	g	3
Gás natural	m ³	0,02
Eletricidade	kWh	0,06
PEBD	g	1,159
Cartão canelado	g	0,287
Transporte garrafas	kgkm	280,8
Transporte tintas	kgkm	0,21
<i>Outputs</i>		
PEBD	g	1,159
Cartão canelado	g	0,287
Emissões para o ar		
CO ₂	kg	0,044
COV	g	0,036
NO _x	g	7,861

No que remete aos transportes da garrafa e das tintas, foram utilizados os valores do peso de uma garrafa e da quantidade de tinta necessária para serigrafar e pintar uma garrafa, respetivamente, e das distâncias apresentadas na Tabela 4.

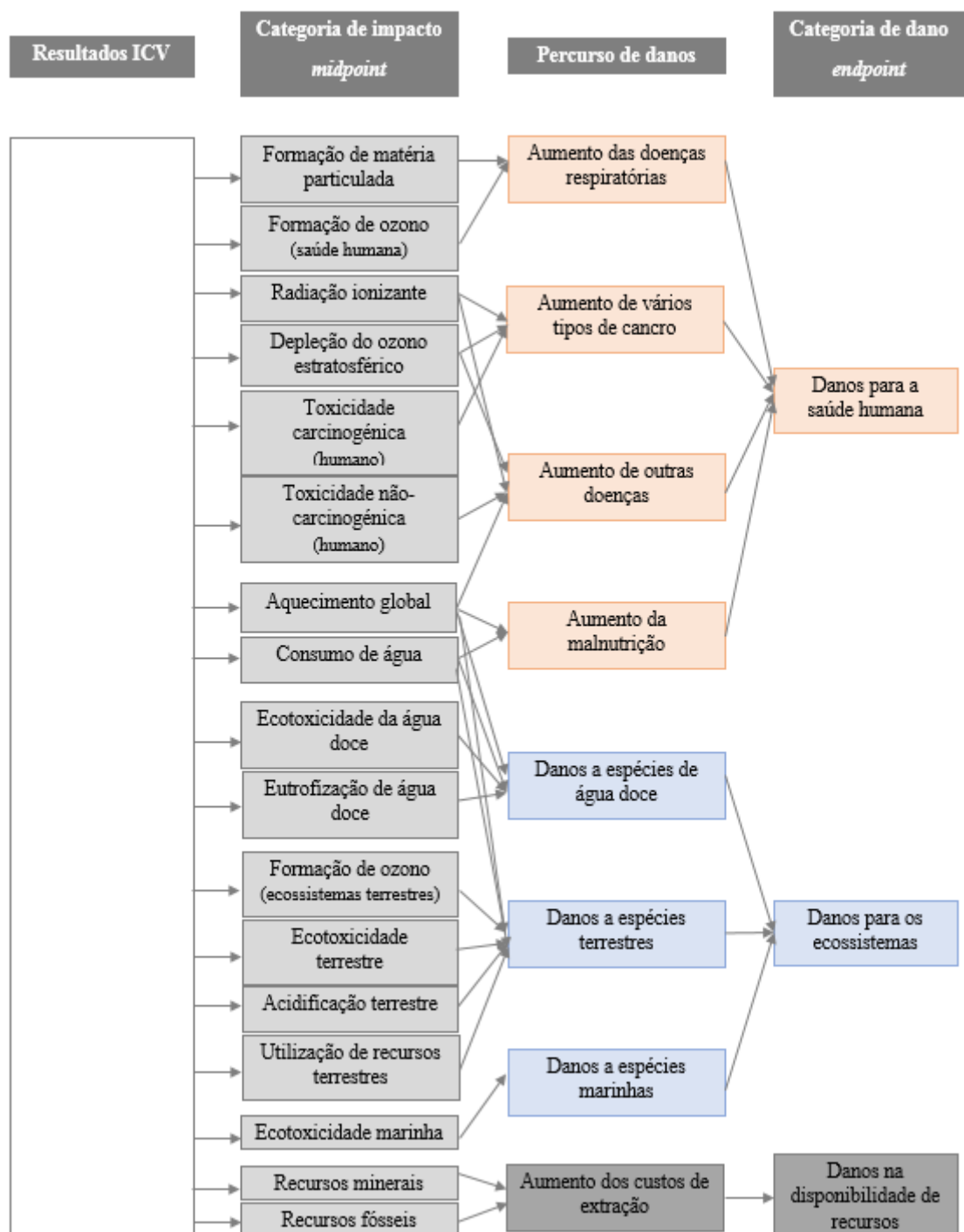
Tal como mencionado anteriormente, foram selecionadas tintas de impressão dado não haver dados relativos a tintas cerâmicas na base de dados utilizada.

Tabela 4 - Inputs e Outputs do processo de decoração de uma garrafa pintada e serigrafada

	Unidades	Quantidades
<i>Inputs</i>		
Tintas	g	11
Gás natural	m ³	0,04
Eletricidade	kWh	0,18
PEBD	g	2,319
Cartão canelado	g	0,575
Transporte garrafas	kgkm	204,8
Transporte tintas pintura	kgkm	1,04
Transporte garrafa pintada	kgkm	106,74
Transporte tintas serigrafia	kgkm	0,21
<i>Outputs</i>		
PEBD	g	2,319
Cartão canelado	g	0,575
Emissões para o ar		
CO ₂	kg	0,0870
COV	g	0,0728
NOx	g	15,722

6. AVALIAÇÃO DE IMPACTO DE CICLO DE VIDA (AICV)

A AICV quantifica o potencial dos impactos ambientais causados pelas cadeias de fornecimento de produtos bem como pelas atividades das organizações, incluindo os fornecedores a montante e a jusante (Frischknecht *et al.*, 2016). Na Figura 13 é possível visualizar um esquema das categorias de impacto que são abordadas no método ReCiPe 2016 (Hollander *et al.*, 2016) e as suas relações com as categorias de dano.



Uma categoria de impacto é uma classe que agrupa diferentes tipos de emissões que têm em comum um mesmo efeito no ambiente; assim, estas emissões são convertidas para uma dada unidade, formando-se uma categoria de impacto (Hillege, www.ecochain.com).

Relativamente à categoria de impacto aquecimento global, o modelo de danos é subdividido em várias fases: a emissão de GEE leva ao aumento da concentração atmosférica destes gases que, por sua vez, aumentam a temperatura média global. Por último, o aumento da temperatura tem como consequência danos na saúde humana e ecossistemas (Hollander *et al.*, 2016).

Quanto à categoria de depleção de ozono estratosférico, de acordo com Hollander *et al.* (2016), a emissão de substâncias depletoras de ozono têm efeitos na saúde humana devido ao consequente aumento de radiação UV-B. Após uma emissão de substâncias depletoras de ozono, as concentrações troposféricas destas substâncias aumentam e, por sua vez, as concentrações estratosféricas destas substâncias também aumentam. Este aumento de potencial depletor de ozono leva a uma diminuição da concentração de ozono atmosférico que permite uma maior incidência de radiação UV-B na superfície terrestre. Este aumento de radiação afeta negativamente a saúde humana, sendo responsável pelo aumento da incidência de cancro de pele e de cataratas.

Emissões antropogénicas de radionuclídeos são geradas no ciclo de combustíveis nucleares, na queima de carvão e na extração de rochas fosfáticas. A exposição à radiação ionizante causada por radionuclídeos pode danificar moléculas de DNA. Na análise de efeitos, a incidência de cancros não-fatais e de cancros fatais é distinguida de efeitos hereditários severos. De momento, não há metodologias de avaliação de impacto capazes de quantificar os danos causados nos ecossistemas por radiação ionizante (Hollander *et al.*, 2016).

No que remete à formação de matéria particulada fina, a poluição do ar que causa os aerossóis primários e secundários na atmosfera podem ter um impacto negativo significativo na saúde humana, desde sintomas a nível respiratório a fatalidades (Hollander *et al.*, 2016).

Quanto à formação de ozono, segundo Hollander *et al.* (2016), este não é diretamente emitido para a atmosfera mas é um produto das reações fotoquímicas de NO_x e de compostos orgânicos voláteis não metânicos. O ozono é um perigo para a saúde humana dado que pode inflamar as vias respiratórias e causar danos pulmonares. Para além disso, o ozono pode também

ter impactos negativos na vegetação, tais como a redução do crescimento e da produção de sementes.

Já para a categoria de impacto acidificação terrestre, a deposição de substâncias inorgânicas, como sulfatos, nitratos e fosfatos, causam alterações na acidez do solo (Hollander *et al.*, 2016). Um desvio significativo do nível ótimo de acidez dos solos é prejudicial aos ecossistemas terrestres e denomina-se por acidificação. As principais emissões responsáveis pelo fenómeno de acidificação são as de NO_x, NH₃ ou SO₂.

De acordo com Hollander *et al.* (2016), a eutrofização ocorre devido à descarga de nutrientes no solo ou nos cursos aquáticos e conseqüente aumento dos níveis de nutrientes (fósforo e azoto). Os impactos ambientais decorrentes da eutrofização vão desde o aumento das emissões de nutrientes na água que aumentam, por sua vez, o *input* de nutrientes pela parte de organismos autotróficos — cianobactérias e algas — e espécies heterotróficas — peixes e invertebrados—; tal leva à conseqüente perda de espécies.

A categoria de impacto toxicidade (humana e ecotoxicidade) tem em consideração a ocorrência a nível ambiental, a acumulação na cadeia de fornecimento humana e na toxicidade de um dado químico (Hollander *et al.*, 2016).

A categoria de impacto de consumo de água refere-se a todo o tipo de utilização de água: água que é evaporada, água que é incorporada em produtos, a que é transferida para outras bacias hidrográficas ou a que é descartada no mar (Hollander *et al.*, 2016). Assim, a água que é consumida é aquela que já não se encontra disponível na bacia hidrográfica de origem para humanos ou ecossistemas.

No que diz respeito à categoria de impacto utilização de solos, esta foca-se na perda relativa de espécies devido à utilização de recursos terrestres locais que incluem os processos de transformação, ocupação e relaxamento dos solos (Hollander *et al.*, 2016).

Segundo Hollander *et al.* (2016), no que remete à categoria de impacto escassez de recursos minerais, é assumido que a primeira extração de um recurso mineral leva a uma diminuição geral do grau de minério que, por seu lado, aumenta a produção de minério por quilograma de recurso mineral extraído. Tal, quando combinado com as extrações futuras desse recurso mineral leva a um excedente médio do potencial do minério. Um aumento do excedente do potencial do minério tem como conseqüência o excedente do potencial de custo.

Por fim, para a categoria de impacto escassez de recursos fósseis é considerado que os combustíveis fósseis de menor custo são os primeiros a serem extraídos. Assim, o aumento da extração de combustíveis fósseis leva ao aumento de custos devido à necessidade de alterar técnicas de produção ou de procurar uma nova fonte numa localização geográfica com custos mais elevados. Tal, combinado com extrações futuras de recursos fósseis, leva a um excedente de potencial de custos (Hollander *et al.*, 2016).

Deste modo, aquando da realização de uma ACV, a etapa de seleção de categorias de impacto reflete o entendimento dos parâmetros de carácter ambiental relevantes ao sistema em questão (Owens, 1996). Assim, na presente ACV, foi realizada uma avaliação de impacto quantitativa a cinco categorias de impacto: aquecimento global, formação de ozono (saúde humana), formação de ozono (ecossistemas terrestres), acidificação terrestre e escassez de recursos fósseis. Foram aplicados os fatores de caracterização do método ReCiPe 2016, v.1.01, tendo sido escolhida a perspetiva hierárquica (modelo consensual frequentemente empregue em modelos científicos; é considerado um modelo padrão).

7. INTERPRETAÇÃO

Nesta secção encontram-se apresentados os resultados principais da ACV realizada aos três sistemas de decoração, bem como a sua discussão e conclusões. Os resultados obtidos permitiram determinar qual das alternativas de decoração acarreta menor impacto ambiental.

7.1. Comparação das alternativas de decoração

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos na avaliação de impacto para a decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL. Com base na Tabela 5, verifica-se que, para todas as categorias de impacto analisadas, a alternativa de decoração “pintura e serigrafia” é a que acarreta maior impacto ambiental e a alternativa de decoração “*sleeve*” é a que tem menor impacto.

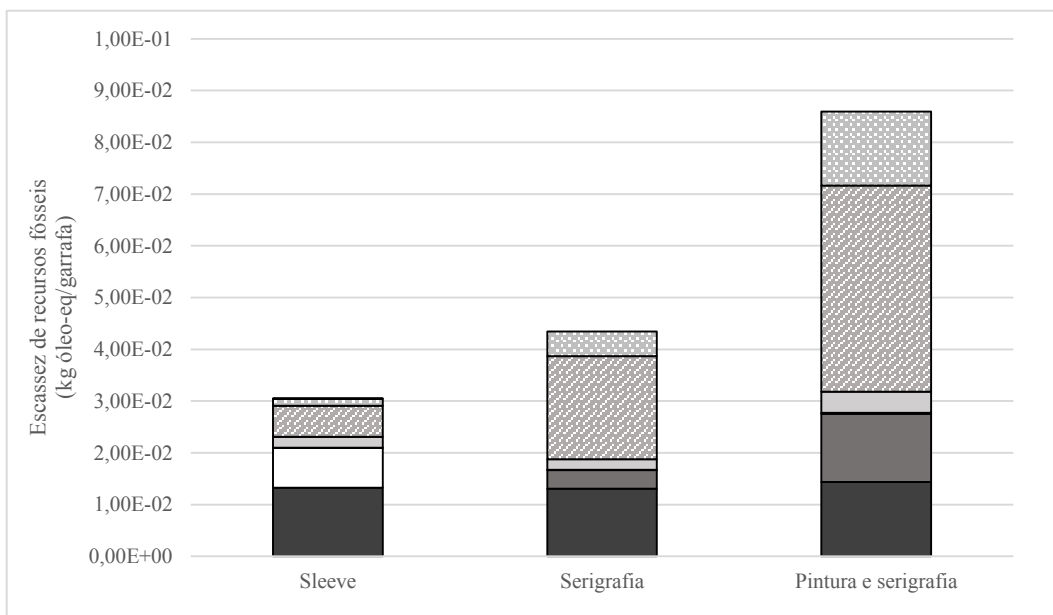
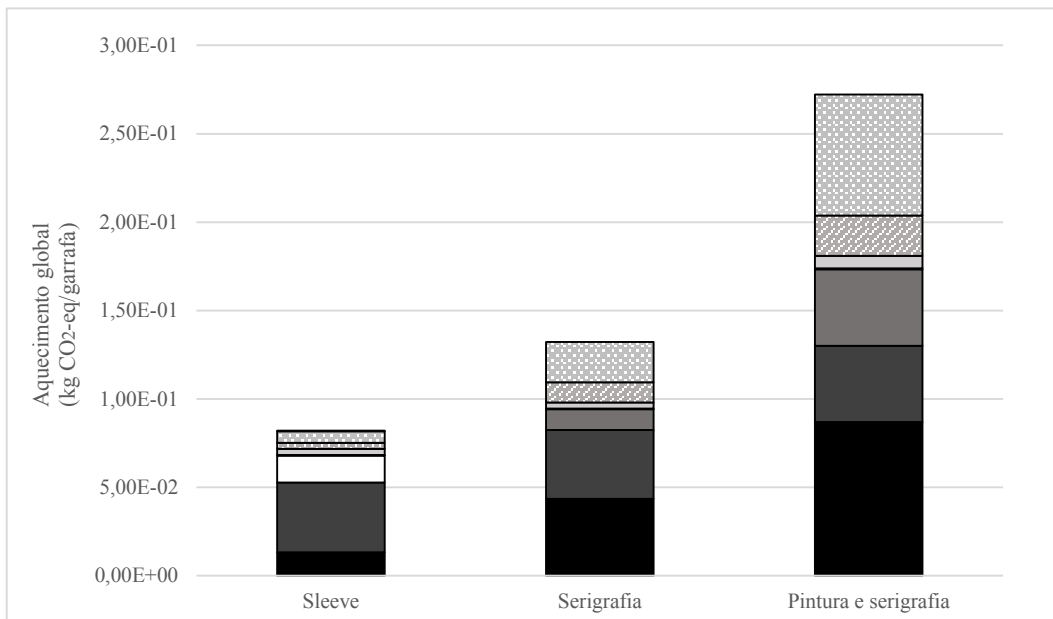
Tabela 5 - Resultados da avaliação de impacto associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: *sleeve*, serigrafia ou pintura e serigrafia

Categoria de impacto	Unidades	Tipo de decoração		
		<i>Sleeve</i>	Serigrafia	Pintura e Serigrafia
Aquecimento global	kg CO ₂ eq	8,20E-02	1,32E-01	2,72E-01
Formação de ozono (saúde humana)	kg NO _x eq	2,39E-04	8,24E-03	1,62E-02
Formação de ozono (ecossistemas terrestres)	kg NO _x eq	2,43E-04	8,25E-03	1,62E-02
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	2,09E-04	3,18E-03	6,37E-03
Escassez de recursos fósseis	kg óleo eq	3,05E-02	4,35E-02	8,59E-02

Relativamente à categoria de impacto aquecimento global, a decoração por pintura e serigrafia tem um impacto de 2,72E-01 kg CO₂ eq, sendo superior à decoração por serigrafia (1,32E-01 kg CO₂ eq) e por aplicação de *sleeve* (8,20E-02 kg CO₂ eq). No que remete à categoria de impacto formação de ozono com impacto na saúde humana, a decoração por pintura e serigrafia apresenta um impacto ambiental de 1,62E-02 kg NO_x eq enquanto que a decoração por serigrafia e por aplicação de *sleeve* têm um impacto de 8,24E-03 kg NO_x eq e 2,39E-04 kg NO_x eq, respetivamente. O impacto ambiental da decoração por aplicação do *sleeve* para a categoria de impacto formação de ozono com impacto nos ecossistemas terrestres

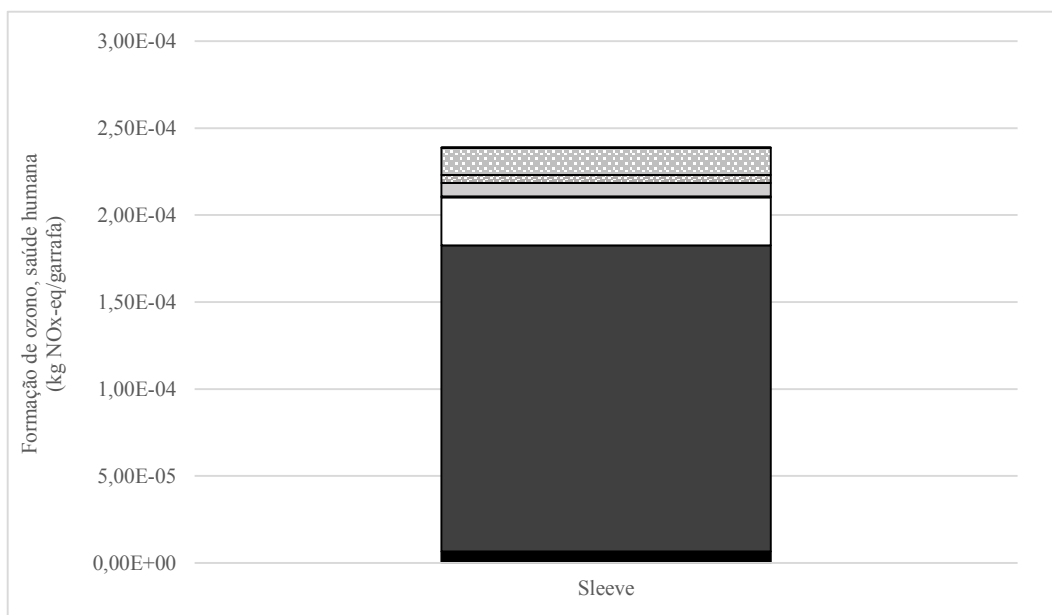
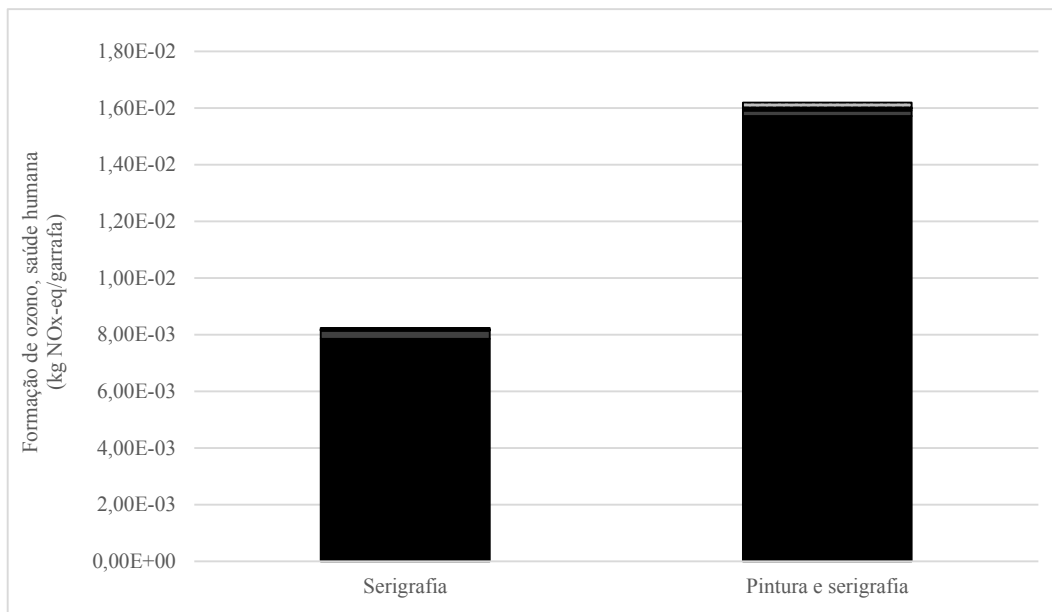
é de $2,43\text{E}-04$ kg NO_x eq; já a decoração por serigrafia acarreta um impacto ambiental de $8,25\text{E}-03$ kg NO_x eq e por pintura e serigrafia, $1,62\text{E}-02$ kg NO_x eq. Quanto ao impacto ambiental associado à categoria de impacto acidificação terrestre, a decoração por aplicação de *sleeve* apresenta um total de $2,09\text{E}-04$ kg SO₂ eq, sendo novamente um valor inferior às alternativas de decoração (serigrafia — $3,18\text{E}-03$ kg SO₂ eq —, decoração por pintura e serigrafia — $6,37\text{E}-03$ kg SO₂ eq). Por fim, no que diz respeito à categoria de impacto escassez de recursos fósseis, a decoração por pintura e serigrafia apresenta um impacto ambiental de $8,59\text{E}-02$ kg óleo eq, enquanto que a decoração por aplicação de *sleeve* tem um impacto de $3,05\text{E}-02$ kg óleo eq e por serigrafia, $4,35\text{E}-02$ kg óleo eq.

Os impactos das diferentes alternativas de decoração no aquecimento global, na formação de ozono (com impactos na saúde humana e ecossistemas terrestres) e na acidificação terrestre resultam, principalmente, da combustão do gás natural. Tal como se pode constatar pelas Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e pelo apêndice A3 (A3.5), para a categoria de impacto aquecimento global, o impacto da combustão do gás natural da decoração por pintura e serigrafia é sensivelmente o dobro da decoração por serigrafia e aproximadamente oito vezes superior à decoração por aplicação de *sleeve*; já para as restantes categorias — formação de ozono (com impactos na saúde humana e ecossistemas terrestres) e na acidificação terrestre — o impacto da combustão do gás natural para o processo de pintura e serigrafia é cerca de o dobro do processo de serigrafia e o impacto associado ao processo de aplicação do *sleeve* é muito reduzido quando comparado com os outros dois processos. Tal deve-se ao facto de, no processo de decoração, serem necessárias temperaturas na arca de recozimento na ordem dos $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $640\text{ }^{\circ}\text{C}$, para os processos de pintura e serigrafia, que são muito superiores à temperatura no túnel de retratilização que ronda os $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, no processo de aplicação do *sleeve*. No que remete à escassez de recursos fósseis, os impactos da decoração incidem, principalmente, no gás natural no que diz respeito às fases da sua produção e extração. O impacto associado ao *sleeve* é muito menor do que o associado às outras duas alternativas de decoração, sendo que o impacto do processo de pintura e serigrafia é aproximadamente o dobro do de serigrafia, como é possível verificar pelas Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 e pelo apêndice A3 (A3.5).



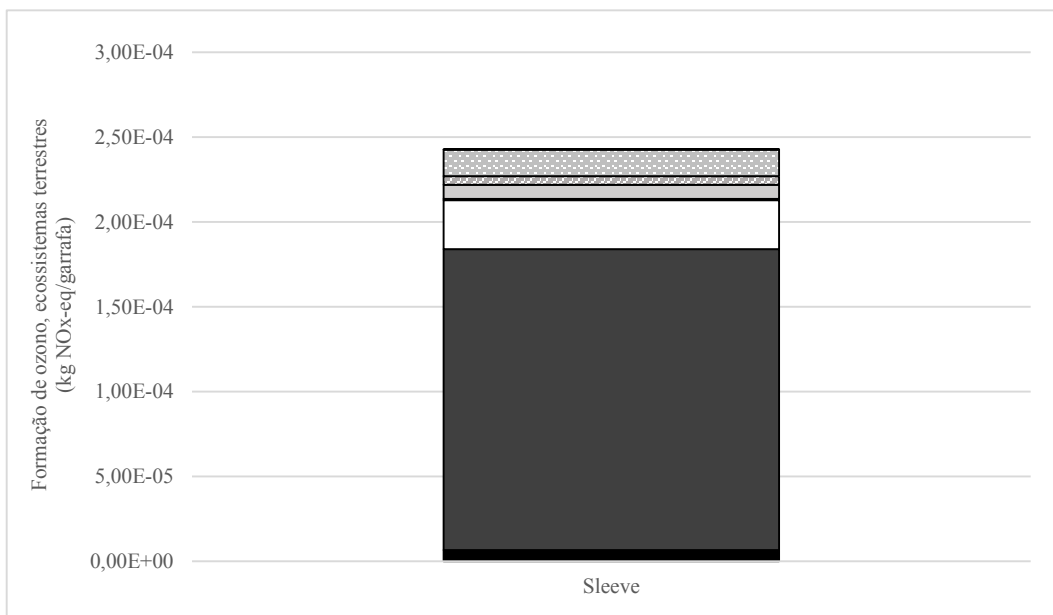
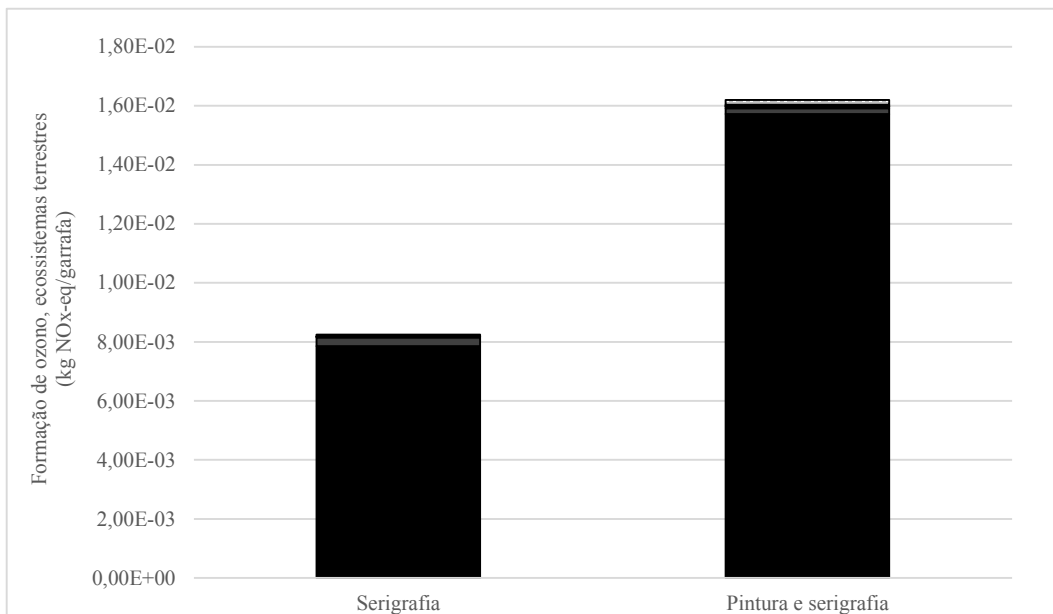
- Resíduos PET
- Gás natural
- Cartão canelado
- PET
- Combustão de gás natural
- Eletricidade
- PEBD
- Tintas
- Transporte

Figura 14 - Resultados da avaliação de impacto (para as categorias de impacto aquecimento global (em cima) e escassez de recursos fósseis (em baixo)) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia



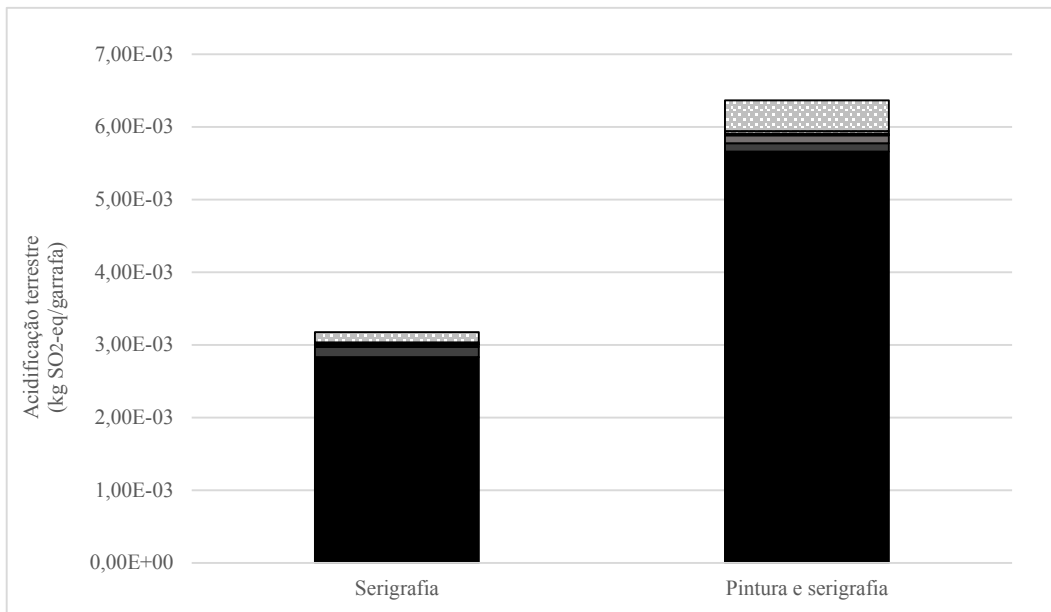
- Resíduos PET
- ▣ Gás natural
- ▣ Cartão canelado
- PET
- Combustão de gás natural
- ▣ Eletricidade
- PEBD
- Tintas
- Transporte

Figura 15 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto formação de zono, saúde humana) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia



- Resíduos PET
- Gás natural
- Cartão canelado
- PET
- Combustão de gás natural
- Eletricidade
- PEBD
- Tintas
- Transporte

Figura 16 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto formação de ozono, ecossistemas terrestres) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia



- Resíduos PET
- Gás natural
- Cartão canelado
- PET
- Combustão de gás natural
- Eletricidade
- PEBD
- Tintas
- Transporte

Figura 17 - Resultados da avaliação de impacto (para a categoria de impacto acidificação terrestre) associado à decoração de uma garrafa Cockburn's 75 cL para as três alternativas de decoração: sleeve, serigrafia ou pintura e serigrafia

7.2. Análise de *hotspot* (principal fator contribuidor para uma dada categoria de impacto)

Como se pode observar nas Figura 14, Figura 15, Figura 16 e Figura 17, a combustão de gás natural é uma fase relevante para as categorias de impacto aquecimento global, formação de ozono (com impactos na saúde humana e ecossistemas terrestres) e acidificação terrestre. Esta fase representa, respetivamente para os processos de decoração por aplicação de *sleeve*, serigrafia e pintura e serigrafia, 1% a 16%, 33% a 95% e 32% a 97% do impacto total. Estes impactos resultam da conversão do gás natural em energia térmica nos processos de decoração.

Para o aquecimento global, formação de ozono (com impactos na saúde humana e ecossistemas terrestres) e acidificação terrestre, o principal contribuidor, nos processos de serigrafia e pintura e serigrafia, é a combustão de gás natural (serigrafia: 33% do impacto total; pintura e serigrafia: 32% do impacto total) associada às emissões de CO₂, NO_x e SO₂ nos processos de decoração. Já no processo de aplicação de *sleeve*, o principal contribuidor é o transporte das garrafas e dos *sleeves* (48%) ao qual estão associadas as emissões de CO₂, NO_x e SO₂, respetivamente a cada categoria de impacto.

No que diz respeito à categoria de impacto escassez de recursos fósseis, a fase de produção e extração de gás natural é significativa. Assim, o gás natural é o principal contribuidor nos processos de serigrafia e pintura e serigrafia, representando 46% do impacto total para ambos os processos. No caso da decoração com *sleeve*, o principal contribuidor é, novamente, o transporte das garrafas e dos *sleeves*, contribuindo com 42% do impacto total.

Deste modo, verifica-se que tanto para os processos de serigrafia e de pintura e serigrafia, a combustão de gás natural é a fase mais relevante para todas as categorias de impacto analisadas — com exceção da categoria de impacto escassez de recursos fósseis para a qual a fase mais relevante é a da produção e extração do gás natural. Relativamente ao processo de decoração com *sleeve*, a fase mais relevante para todas as categorias de impacto analisadas é o transporte das garrafas e do *sleeve*.

7.3. Conclusões

Com base nos resultados obtidos na avaliação de impacto conclui-se que, para todas as categorias de impacto avaliadas, a alternativa de decoração por pintura e serigrafia é a que apresenta maior impacto ambiental, seguida da decoração por serigrafia, sendo que a decoração por aplicação de *sleeve* é a que apresenta menor impacto ambiental.

Este estudo apresenta algumas limitações no que remete aos *inputs* e *outputs* do sistema. Relativamente aos *inputs*, não foi possível obter dados que permitissem proceder à quantificação da tinta do *sleeve*, pelo que este *input* não foi considerado, tendo sido considerado a massa global do *sleeve*. A alocação de energia, em todos os sistemas, tem, também, algumas limitações associadas dado que os *inputs* de energia utilizados foram obtidos a partir das suposições descritas no apêndice A.3.3. Quanto aos *outputs*, as perdas de tinta ao longo do processo de decoração associadas ao descarte de garrafas decoradas incorretamente não foram consideradas, pois a tinta é descartada juntamente com a garrafa. Os dados obtidos de emissões gasosas só permitiram considerar as emissões de dióxido de carbono, óxidos de azoto e de compostos orgânicos voláteis. Contudo, estas limitações não colocam em questão os resultados obtidos, pois os contributos destas limitações são inferiores aos dos *hotspots* (devido à sua ordem de grandeza).

Os resultados deste trabalho foram obtidos com uma análise objetiva, seguindo as regras aplicáveis, e que tem limitações associadas. Contudo, o impacto que as diferentes alternativas estudadas têm no consumidor não é incluído no estudo. É importante realçar que, atualmente, os consumidores rejeitam a utilização de plástico pelo que seria interessante estudar a perceção dos consumidores perante esta alternativa que revelou ter o menor impacto ambiental. Também é de realçar que a alternativa de aplicação do *sleeve* permite, potencialmente, reduzir o peso da garrafa dado que este protege a garrafa em caso de quebra. Esta medida possibilita a redução do impacto ambiental associado a esta alternativa de decoração, constituindo uma melhoria significativa que poderia ser implementada, mas que não foi alvo de estudo.

REFERÊNCIAS

- Agência Portuguesa do Ambiente (2013) Comércio Europeu de Licenças de Emissão (CELE) 2013-2020. *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA)*.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2017) *Estratégia Nacional de Educação Ambiental 2020*. República Portuguesa. Acedido a 27 de agosto de 2019 em www.apambiente.pt.
- Banar, M.; Çokaygil, Z. (2009) A life cycle comparison of alternative cheese packages. *Clean Soil Air Water*, 37:136-141.
- Besch, K. *et al.* (2019) The environmental impact of packaging in food supply chains — does life cycle assessment of food provide the full picture? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24:37-50.
- Bonamente, E. *et al.* (2016) Environmental impact of an Italian wine bottle: carbon and water footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 560-561:274-283.
- Borghetti, A. *et al.* (2018) Life cycle assessment for eco-design of product-package systems in the food industry – The case of legumes. *Sustainable Production and Consumption*, 13:24-36.
- Cabot, M. *et al.* (2019) Aspects of sustainability and design engineering for the production of interconnected smart food packaging. *PLoS ONE*, 14(5).
- Cleary, J. (2013) Life cycle assessments of wine and spirit packaging at the product and the municipal scale: a Toronto, Canada case study. *Journal of Cleaner Production*, 44:143-151.
- Cohen, N.; Robbins, P. (2011) *Green business: An A-to-Z guide.*, 1st edition, California: SAGE Publications, Inc.
- De Monte *et al.* (2005) Alternative coffee packaging: an analysis from a life cycle point of view. *Journal of Food Engineering*, 66:405-411.
- Dhaliwal, H. (2016) *A look back: the evolution of LCA and life cycle impact assessment*. Triple Pundit. Acedido em www.triplepundit.com a 23 de outubro de 2019.
- Draskovic, N. *et al.* (2011) Consumer perception of wine packaging in Croatia: a wine producer's view. *International Journal of Management Cases*.
- Ecoinvent (2017) Ecoinvent Database v.3.4. *Swiss centre for life cycle inventories*, Dübendorf.

Falkenstein, E. *et al.* (2010) LCA studies comparing beverage cartons and alternative packaging: can overall conclusions be drawn? *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15:938-945.

Frischknecht, R. *et al.* (2016) Motivation, context and overview. in Lynch, J. (SETAC) (ed.) *Global guidance for life cycle impact assessment indicators (Volume 1)*. 1ª edição. (pp. 30-37). UNEP/SETAC Life Cycle Initiative.

Guinée, J. (2012) Life cycle assessment: past, present and future. *International Symposium on Life Cycle Assessment and Construction*.

Hillege, L. *Impact categories (LCA) – overview*. Ecochain. Acedido em www.ecochain.com em outubro de 2019.

Hollander, A. *et al.* (2016) ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report I: characterization. *National Insititute for Public Health and the Environment. Ministry of Health, Welfare and Sport*.

Humbert, S. *et al.* (2009) Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14:95-106.

Ingrao, C. *et al.* (2015) Polylactic acid trays for fresh-food packaging: A carbon footprint assessment. *Science of the Total Environment*, 537:385-398.

Ingrao, C. *et al.* (2019) Tomato puree in the Mediterranean region: and environmental life cycle assessment, based upon data surveyed at the supply chain level. *Journal of Cleaner Production*, 233:292-313.

ISO 14040 (2006) Environmental management – life cycle assessment – principles and frameworks. ISO 14040. *International Organization for Standardization*, Geneva, Suíça.

ISO 14044 (2006) Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. ISO 14044. *International Organization for Standardization*, Geneva, Suíça.

Interpack. *Upward trend for packaging industry worldwide*. Interpack, Processing & Packaging. Acedido em www.interpack.com em outubro de 2019.

Jensen, A. *et al.* (1997) Life cycle assessment: a guide to approaches, experiences and information sources. *Environmental issues series; no.6*. Agência Europeia do Ambiente.

- Mahler, D. *et al.* (2012) A product lifecycle approach to sustainability. *Supply Chain Management Review*.
- Manfredi, M.; Vignali, G. (2014) Life cycle assessment of a packaged tomato puree: a comparison of environmental impacts produce by different life cycle phases. *Journal of Cleaner Production*, 73:275-284.
- Neto, B. *et al.* (2013) Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: from viticulture to distribution. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 18:590-602.
- Nilsson, K. *et al.* (2010) Comparative life cycle assessment of margarine and butter consumed in the UK, Germany and France. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 15:916-926.
- Odabasi, S.; Buyukgungor, H. (2016) Comparison of life cycle assessment of PET bottle and glass bottle. Eurasia 2016 waste management symposium.
- Owens, J. (1996) LCA impact assessment categories. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1(3):151-158.
- Pandelieva, I. (2014) Life-cycle assessment for sustainable wine production. *Section Environmental Economics*.
- Pasqualino, J. *et al.* (2011) The carbon footprint and energy consumption of beverage packaging selection and disposal. *Journal of Food Engineering*, 103:357-365.
- Pauer, E. *et al.* (2019) Assessing the environmental sustainability of food packaging: an extended life cycle assessment including packaging-related food losses and waste and circularity assessment. *Sustainability*, 11:925.
- Point, E. *et al.* (2012) Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova Scotia, Canada. *Journal of Cleaner Production*, 27:11-20.
- Rezaei, J. *et al.* (2018) Sustainable product-package design in a food supply chain: a multi-criteria life cycle approach. *Packaging Technology and Science*, 32:85-101.
- Roibás, L. *et al.* (2018) The relevance of supply chain characteristics in GHG emissions: The carbon footprint of Maltese juices. *Food Research International*, 107:747-754.
- Roy, P. *et al.* (2009) A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90:1-10.

- Rugani, B. *et al.* (2013) A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector. *Journal of Cleaner Production*, 54:61-77.
- Simon, B. *et al.* (2016) Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles. *Journal of Cleaner Production*, 112:238-248.
- Singh, J. *et al.* (2010) Life cycle inventory of HDPE bottle-based liquid milk packaging systems. *Packaging Technology and Science*, 24(1)-49-60.
- Sonneveld, K. (2000) The role of life cycle assessment as a decision support tool for packaging. *Packaging Technology and Science*, 13(2):55-61.
- Steenis, N. *et al.* (2017) Consumer response to packaging design: The role of packaging materials and graphics in sustainability perceptions and product evaluations. *Journal of Cleaner Production*, 162:286-298.
- Vázquez-Rowe, I. *et al.* (2013) Tapping carbon footprint variations in the European wine sector. *Journal of Cleaner Production*, 43:146-155.
- Vignali, G. (2016) Life-cycle assessment of food-packaging systems. *Environmental Footprints of Packaging*, 1-22.
- Viola, I.; Marinelli, A. (2016) Life cycle assessment and environmental sustainability in the food system. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 8:317-323.
- Wikström, F. *et al.* (2014) The influence of packaging attributes on consumer behaviour in food-packaging life cycle assessment studies – a neglected topic. *Journal of Cleaner Production*, 73:100-108.
- Zabaniotou, A.; Kassidi, E. (2003) Life cycle assessment applied to egg packaging made from polystyrene and recycled paper. *Journal of Cleaner Production*, 11, 549-559.

APÊNDICES

A1) SYMINGTON FAMILY ESTATES

A1.1) A História

O “pioneiro original” da Symington Family Estates foi Andrew James Symington que veio para Portugal em 1882, quando tinha 19 anos. Após se associar durante um curto período de tempo à Graham’s, Andrew iniciou uma carreira independente como produtor de vinho do Porto. Em 1891, casou-se com Beatrice Leitão de Carvalhosa Atkinson, portuense, cujo avô era produtor e exportador de vinho do Porto desde 1814 e cuja mãe portuguesa era descendente dos mercadores pioneiros de vinhos no século XVII. Neste momento, em atividade do negócio de vinho do Porto, a 5.^a geração do legado Symington tem, através da tataravó materna, uma linhagem que remonta 14 gerações — a 1652 — aos primórdios da longa história do vinho do Porto.

Em 1905, Andrew tornou-se sócio da Warre’s que era a primeira e mais antiga casa de vinho do Porto britânica estabelecida em Portugal; nessa época, a família Warre era a principal proprietária da Dow’s. Em 1912, George Warre, sócio principal da Dow’s, regressou a Inglaterra e convidou Andrew para gerir as vinhas do Douro da Dow’s bem como os armazéns e stocks de vinhos em Gaia. A parceria de sucesso entre os Symington, como produtores de vinho do Porto no Douro e Gaia, e os Warre, assumindo a responsabilidade das vendas em Londres, durou meio século até 1961, quando os Symington se tornaram nos únicos proprietários da Dow's e Warre's.

A era da pós-Segunda Guerra Mundial foi um dos períodos mais complicados pelo qual o vinho do Porto passou: a guerra suspendeu a maior parte das exportações de vinho do Porto e, durante a década de 50, muitas das famílias com negócio de vinho do Porto, há muito estabelecidas, deixaram Portugal. Contudo, os Symington nunca deixaram de resistir e de acreditar na recuperação do negócio mesmo quando, na 3.^a geração, se viram obrigados a vender duas das suas principais vinhas, a Quinta do Zimbro e a Quinta da Senhora da Ribeira; esta última foi readquirida pela 4.^a geração, 45 anos depois. A expansão e crescimento do legado Symington não tardou a fazer-se notar. A fé dos Symington no vinho do Porto e o seu compromisso para com o Douro durante os tempos de maior dificuldade foi recompensada durante a década de 60, quando a Europa entrou no período de prosperidade. Tal fazia-se

anunciar pela declaração do notável Vintage de 1963, um clássico do século XX, que trouxe sucesso e crescimento à empresa familiar. Em 1970, a família Symington comprou a W & J Graham & Co. A 3.^a geração da família foi determinante, não só para inverter as perspetivas do futuro do negócio familiar, mas também para revitalizar o setor do vinho do Porto, ajudando a estabelecer os pilares para o seu desenvolvimento nos mercados internacionais a partir de 1970.

Em 1979, Paul Symington juntou-se ao negócio da família, seguido por Johnny, Dominic, Rupert e Charles. Em 1989, adquiriram a Quinta do Vesúvio, com o objetivo de a restaurar à sua antiga glória. Esta 4.^a geração presidiu a um período de sucesso contínuo que levou a empresa a tornar-se um dos líderes mundiais na produção de vinhos do Porto *premium*, para além de ser pioneira na popularidade dos vinhos DOC Douro e de tomar a dianteira no enoturismo em Gaia e no Douro.

Atualmente, a SFE é um dos maiores produtores mundiais de vinho do Porto premium, a principal proprietária de vinhas no Alto Douro e uma das principais produtoras de vinho de Portugal. A empresa é agora gerida pela 4.^a e 5.^a geração da família e assume um profundo compromisso com o povo português, as suas terras e os seus vinhos.

São proprietários e fazem a gestão de quatro das grandes casas históricas de vinho do Porto, Graham's, Cockburn's, Dow's e Warre's. Para além do vinho do Porto, produzem também vinhos do Douro: Quinta do Vesúvio, Quinta do Ataíde, Atano, Prats & Symington (é uma parceria reconhecida mundialmente da qual surgiu a produção do Chryseia e Post Scriptum); recentemente, em 2017, aderiram a um novo projeto na região de Portalegre, no Alto Alentejo, onde está situada a Quinta da Fonte Souto com 207 hectares.

A SFE é a principal proprietária de vinhas no Douro, possuindo 26 Quintas, correspondendo a uma área de 2.255 hectares, dos quais 1.024 hectares estão plantados com vinha; a restante área é, maioritariamente, vegetação natural mediterrânica com olivais e produção de citrinos. A maior vinha é a Quinta do Vesúvio, com 133 hectares, localizada no Douro Superior, e a mais pequena é a Quinta da Madalena, com 7 hectares, situada no vale do Rio Torto.

Muitas das vinhas mais antigas do Douro são propriedade dos Symington como, por exemplo, a Quinta do Vesúvio, Malvedos, Bomfim, Cavadinha, Senhora da Ribeira, Tua,

Canais, Retiro, Ataíde e Roriz (esta em parceria com os Prats). Contrariamente ao que se verifica nos dias de hoje, a maioria dos membros da família cultiva as próprias vinhas em conjunto com todos os colaboradores da empresa. Esta ligação tão direta com o Douro demonstra o compromisso pessoal da família Symington para com a região.

Os vinhos do Porto e DOC Douro vencem frequentemente prémios internacionais de relevo. A SFE produziu o único vinho do Porto, neste século, que obteve 100 pontos na reconhecida e influente *Wine Spectator*, o Porto Vintage Dow's 2007, produzido nas vinhas do Bomfim e da Senhora da Ribeira. Mais a mais, o Porto Vintage Dow's 2011 obteve 99 pontos também na *Wine Spectator*, em 2014, arrecadando a menção de "Vinho do Ano" e o 1.º lugar no TOP 100 Vinhos do Mundo; no mesmo ranking, o vinho Chryseia 2011 obteve o 3.º lugar. De seguida, na Figura 18, apresentam-se, cronologicamente, os prémios de prestígio mais recentes recebidos pela SFE.

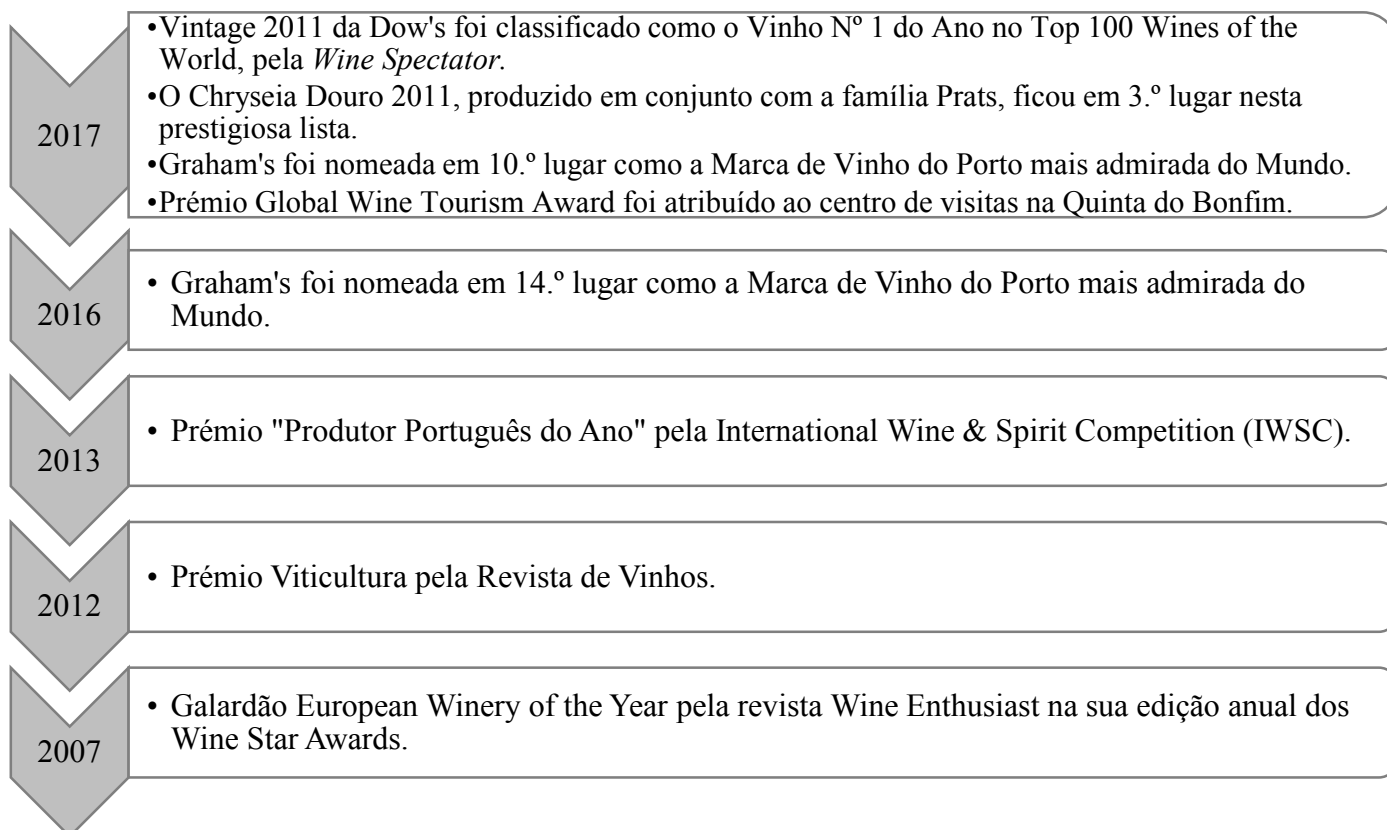


Figura 18 - Cronologia dos prémios de prestígio recebidos pela SFE

A SFE é líder na inovação em viticultura e enologia, possuindo uma equipa de I&D que investiga novos desenvolvimentos na vinha e na adega. Com os seus projetos, pretendem

contribuir para a preservação do património das castas em Portugal e estudar a sua capacidade de adaptação face às alterações climáticas.

Relativamente ao enoturismo, existem três centros de visita premiados com guias profissionais e qualificados, sendo eles: as Caves 1890 da Graham's, o Cockburn's Port Cellars, ambos em Vila Nova de Gaia, e a Quinta do Bomfim, no Pinhão. Nas Caves da Graham's encontra-se, também, um restaurante de excelência, Vinum, conhecido por aliar bons vinhos à gastronomia portuguesa.

A SFE é proprietária e administra três empresas de distribuição para venda e comercialização de vinhos do Porto e de outros vinhos de qualidade de propriedade e produção familiar, a Portfolio (Portugal), a Fells (Reino Unido) e a Premium Port Wines (Estados Unidos da América). Esta rede de distribuidores comercializa os vinhos do Porto, DOC Douro e Alentejo em mais de 100 países em todo o mundo.

São responsáveis por apoiar diversas causas/projetos que contribuem para o bem-estar da região onde atuam: realizam doações aos Bombeiros Voluntários na região do Douro; apoiam financeiramente uma organização que ajuda crianças desfavorecidas na mesma região, a Bagos d'Ouro; patrocina licenciatras em viticultura e enologia a estudantes da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro; e, por último, apoiam o Centro de Recuperação de Animais Selvagens do Hospital Veterinário Universitário da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

As 5.^a e 6.^a gerações da família Symington continuam intrinsecamente envolvidas no negócio familiar, empenhando-se em promover a evolução da Symington Family Estates no sentido de enfrentar os desafios e oportunidades futuras.

A1.2) Missão, Visão e Valores da SFE

Sendo um negócio familiar multigeracional, a família Symington dá continuidade à tradição iniciada por Andrew Symington, transmitindo, de geração em geração, os seus valores, conhecimentos e experiências, trabalhando em conjunto e reafirmando os princípios de respeito mútuo, lealdade e compromisso.

Nas Figura 19 e Figura 20 constam a Missão, a Visão e os Valores da SFE.

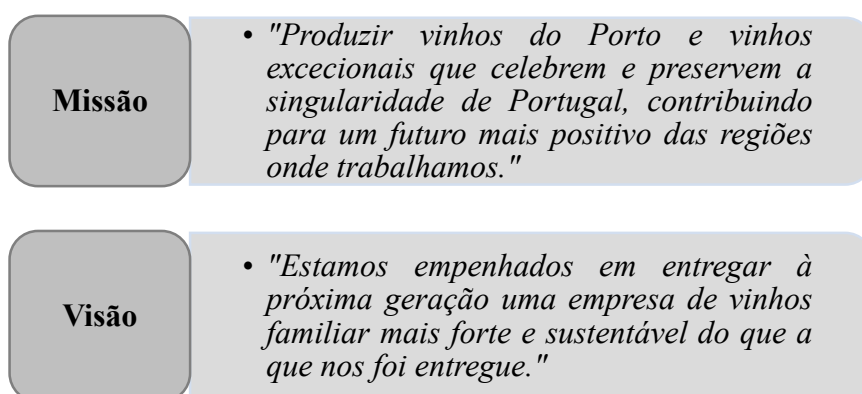


Figura 19 - Esquema representativo da Missão e Visão da SFE

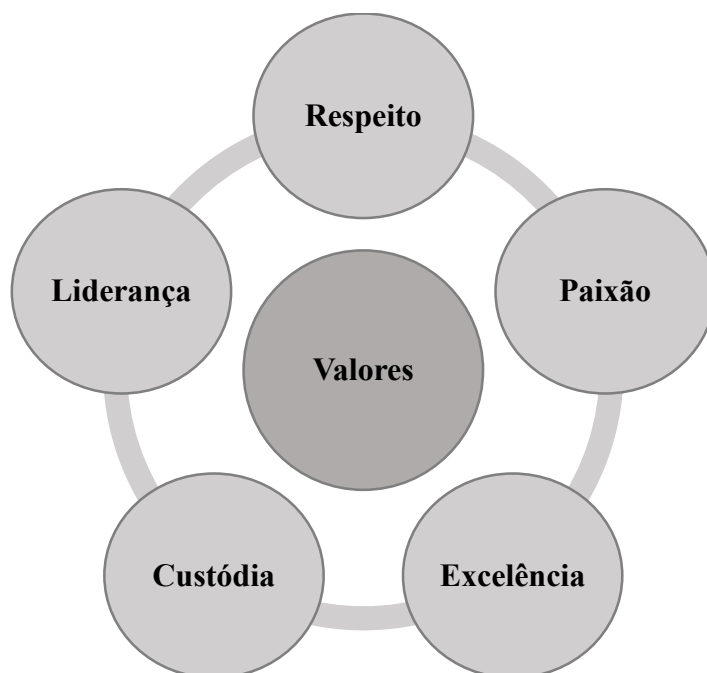


Figura 20 - Esquema representativo dos Valores da SFE

Respeito *"Importamo-nos com os nossos colaboradores, lavradores, fornecedores e clientes, tratando todas as pessoas do mesmo modo."*

Paixão *"Somos apaixonados pelo nosso trabalho, pelos nossos produtos e pelas regiões onde estamos e temos um profundo orgulho em tudo o que fazemos."*

Excelência *"Estamos empenhados em ser os melhores em todas as áreas da nossa atividade, constantemente aprendendo, melhorando e inovando."*

Custódia *"Trabalhamos para proteger e conservar o nosso património cultural, social e ambiental, assumindo a responsabilidade pelo nosso impacto no ambiente, em todas as suas formas."*

Liderança *"O nosso objetivo é estar entre os pioneiros no nosso setor. Atuamos com integridade, firmeza e decididamente para alcançarmos os nossos objetivos."*

Primum Familiae Vini

A *Primum Familiae Vini* é uma associação internacional, criada em 1992, que reúne 12 famílias extremamente respeitadas produtoras dos melhores vinhos de França, Alemanha, Itália,

Portugal e Espanha, sendo conhecidas como as “Leading Wine Families”. A Symington Family Estates é um dos membros desta associação, focando-se na defesa e promoção das tradições e valores das empresas de vinho de propriedade familiar, garantindo a continuidade e desenvolvimento dos seus princípios ao longo das gerações futuras.

A1.3) Sustentabilidade: um compromisso da família e uma responsabilidade social e ambiental

O pensamento e planeamento a longo prazo são dois fatores sempre presentes. Sendo produtores de vinho, há uma dependência completa do clima e da estabilidade dos ecossistemas. Como empresa, os colaboradores, agricultores e fornecedores regionais são de extrema importância pelo que o cuidado para com as pessoas e para com a região é e sempre foi uma prioridade. A qualidade excepcional dos vinhos produzidos está intrinsecamente associada ao meio ambiente, às comunidades e empresas pelo que as relações entre todos têm que ser saudáveis, sustentáveis e resilientes. Assim, há particular atenção para os riscos significativos que as alterações climáticas e a degradação ambiental podem acarretar para o negócio familiar e para as pessoas da região onde a família opera.

Desde sempre, a SFE apoiou iniciativas que contemplam ações sociais, culturais e ambientais na região em que opera e tem desenvolvido investigação sobre os efeitos das alterações climáticas nas vinhas. É sabido que as anormais condições climáticas já estão a ter impacto nas vinhas e sem uma tomada de ação rápida global para reduzir emissões, o cenário tende a piorar. A família acredita que as pessoas e as organizações têm a responsabilidade de responder construtivamente dentro das suas áreas de atividade e de dar voz às exigências por uma ação governamental mais célere e eficaz.

Assim, tornou-se imperativo desenvolver uma estratégia de sustentabilidade na qual se pretende integrar um futuro de zero emissões e desenvolver formas inovadoras e competitivas de avançar no sentido de uma economia ecológica dentro dos limites seguros da biosfera. Em 2018, foi realizada uma revisão completa do impacto ambiental e social da SFE e foram constituídos grupos de trabalho para implementar parâmetros de sustentabilidade nas seguintes áreas: 1. Viticultura e Biodiversidade; 2. Energia, Água e Construção Sustentável; 3. Embalagem e Resíduos; 4. Equipa e Comunidade Local. Cada grupo determinou uma gama de objetivos ambiciosos a realizar até 2025; para tal, os Relatórios de Sustentabilidade

desenvolvidos regularmente pela empresa farão o acompanhamento do progresso e serão utilizados padrões internacionais para relatar de forma transparente o impacto ambiental e social. Assim, é expectável que se possa dar uma resposta proactiva à ameaça das alterações climáticas de modo a que a empresa possa manter-se forte e resiliente, respondendo rápida e eficazmente a qualquer perturbação.

Deste modo, a SFE comprometeu-se a trabalhar nos seguintes pontos referentes à sustentabilidade:

1. Gestão responsável;
2. Equipa próspera;
3. Impacto na comunidade;
4. Proteção da biodiversidade;
5. Adaptação às alterações climáticas;
6. **Redução das emissões de CO₂**;
7. **Utilização eficiente da água**;
8. Construção sustentável;
9. **Embalagens sustentáveis**;
10. **Gestão de resíduos**.

No presente estudo, serão focados os pontos 6, 7, 9 e 10 (destacados a negrito) que vão ao encontro dos pontos analisados para realizar o estudo de pegada de carbono/ciclo de vida.

6. Redução das emissões de CO₂

6.1. Pegada de Carbono

A mais recente ação tomada pela SFE foi em 2018 com a contratação da Ernst & Young para determinares a pegada de carbono no âmbito dos scopes 1, 2 e 3 do Protocolo de Gases com Efeito de Estufa, publicado pelo Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável. Tal ação foi voluntária e teve como intuito encaminhar a empresa no sentido de reduzir as suas emissões de CO₂ no desenvolvimento da sua atividade. É de denotar que entre 2015 e 2017, a SFE reduziu as suas emissões de CO₂ por litro de vinho engarrafado em 23 %, o que demonstra a relevância dada a esta questão. De momento, a SFE encontra-se a trabalhar em estudos de pegada de carbono e a definir futuras metas de redução.

6.2. Instalação de painéis solares

Em 2016, foram instalados 1 500 m² de painéis solares no telhado de uma das principais instalações de equipamento em Vila Nova de Gaia. No máximo, estes painéis cobrem 35% das necessidades de eletricidade da instalação, economizando 10,5 toneladas em emissões de CO₂. Para além disso, foram também instalados painéis solares em várias das suas propriedades no Douro de modo a suprir as necessidades energéticas. Atualmente, está em curso um estudo para analisar a instalação de painéis solares em outras instalações e adegas.

6.3. Trásfegas de vinho sem bombas

Têm sido feitos progressos consideráveis relativamente à otimização da trásfega do vinho entre as cubas, tanto nas adegas do Douro como nas caves em Vila Nova de Gaia. Cerca de 70 % das transferências de vinho nas caves são, de momento, realizadas por gravidade ao invés de utilização de bombas elétricas. Assim, pretende-se aumentar o volume de vinho transferido desta forma, tendo em conta que a topografia tanto do Douro como dos terrenos íngremes, nos quais as caves em Gaia estão situadas, favorece este processo.

6.4. Projeto de eficiência de energia

Existe um projeto de melhoria contínua que visa a redução da quantidade de energia utilizada nas operações de adega e engarrafamento. Para tal, é utilizado um *software* que faz a gestão do consumo de energia, cobrindo 75% da energia contratada pela empresa. A iluminação LED é *standard* e as fugas de ar comprimido são vigiadas; estas medidas representam uma redução no consumo de eletricidade de 12% e 11%, respetivamente. De momento, novas metas estão a ser estabelecidas.

6.5. Autovinificação

As adegas na Quinta do Sol e Quinta do Bomfim utilizam autovinificadores na fermentação de vinho do Porto. Tal sistema é autopropulsionado (utilizando o CO₂ que ocorre naturalmente para bombear o mosto sobre a manta) pelo que não requer qualquer energia adicional, representando, assim, uma poupança de energia significativa.

6.6. Empilhadores elétricos

Cerca de 70% dos empilhadores utilizados nas instalações de engarrafamento e armazéns são elétricos; os restantes são movidos a gás natural, apresentando reduzidas taxas de emissões. Futuramente, pretende-se ter uma frota de empilhadores totalmente elétrica.

6.7. Carros

Pretende-se substituir a frota de veículos a diesel e gasolina por elétricos assim que tal se torne viável.

Os colaboradores são incentivados a partilhar o carro nas viagens entre as diferentes instalações da empresa, tanto no vale do Douro como no Porto e Alentejo.

7. Utilização eficiente da água

7.1. Projeto de eficiência da água

Desde 2011 que é desenvolvido um projeto de melhoria contínua com o intuito de reduzir a quantidade de água utilizada nas operações de vinificação e engarrafamento. Pretende-se reduzir o consumo total de água nas operações nas adegas e centros de engarrafamento.

7.2. Reforma da rega

Os recursos hídricos são finitos e devem ser geridos de forma sustentável. A SFE acredita que, futuramente, com o aumento da temperatura, certas regiões do Douro poderão tornar-se inviáveis para a cultura da vinha sem rega. Deste modo, em 2017, a SFE escreveu ao Ministério da Agricultura a requisitar a revisão deste assunto e um plano de gestão sensato e sustentável para a água no Douro.

7.3. Rega inteligente

Nos casos em que é empregue rega, é utilizado um sistema, controlado por computador, de rega gota a gota, o que permite identificar as videiras que precisam de suporte adicional para sobreviver às temperaturas extremas de Verão. Este sistema de rega inteligente permite gerir com maior eficácia os recursos hídricos, evitando desperdícios desnecessários. A rega é feita apenas em situações em que a colheita corre risco de ser totalmente comprometida sem a adição de água; nunca é feita irrigação para aumentar o volume da colheita.

9. Embalagens sustentáveis

9.1. Vidro reciclado

Aproximadamente 50% do vidro utilizado no fabrico das garrafas é vidro reciclado. Pretende-se atingir uma percentagem de 80% de incorporação de vidro reciclado em 90% das garrafas da SFE.

9.2. Vidro mais leve

São utilizadas garrafas de vidro mais leves em muitos dos vinhos e vinhos do Porto, o que reduz a quantidade necessária de materiais e emissões de CO₂ envolvidas na sua produção e transporte.

9.3. Redução do plástico

O processo de engarrafamento é adaptado de modo a reduzir a utilização de plástico principalmente na paletização. Pretende-se que 100% do plástico utilizado para paletização seja polietileno dada a sua facilidade em ser reciclado.

9.4. Cartão reciclado

Cerca de 90% do cartão utilizado nas embalagens é reciclado. Pretende-se atingir a meta de utilização de 100% de cartão reciclado, pelo que já estão a ser estabelecidos contactos com os fornecedores de cartão novo/virgem.

9.5. Rolhas de cortiça

As rolhas de cortiça são 100% naturais e recicláveis, decompondo-se naturalmente; da sua produção não resultam desperdícios, pois o pó da cortiça é utilizado como combustível nas fábricas. Estas rolhas são, atualmente, a escolha mais ecológica, dado que a cortiça acarreta 24 vezes menos CO₂ do que as tampas de alumínio e 10 vezes menos do que as rolhas de plástico.

9.6. Auditoria e diretrizes de embalagem

De momento, estão a ser levados a cabo estudos para identificar oportunidades de substituição de materiais de embalagem por opções mais recicláveis ou biodegradáveis.

10. Gestão de resíduos

10.1. Tratamento de águas residuais

A SFE faz a gestão de 8 estações de tratamento de águas residuais (ETARs) em 15 locais. Assim, é assegurado que a água que sai das instalações de armazenamento e adegas da SFE é devolvida ao rio, limpa, não prejudicando os ecossistemas aquáticos nem o sistema de fornecimento de água às populações. É de observar que o lodo resultante do tratamento das águas residuais é valorizado na medida em que é posteriormente utilizado na produção de fertilizantes biológicos.

10.2. Gestão de resíduos

A gestão dos centros de reciclagem é realizada em todas as instalações principais. Os resíduos são classificados numa ampla variedade de recipientes de modo a serem eliminados de forma segura e legal.

10.3. Pontos de reciclagem

Pontos de reciclagem para rolhas e pilhas estão disponíveis nos escritórios. Os funcionários são incentivados a trazer itens das suas casas para que estes possam ser eficientemente reciclados.

A2) Estágio — Período de integração na empresa

Foi realizado um estágio para integração na empresa, no departamento de Qualidade. Durante o estágio, foram adquiridos e postos em prática conhecimentos nas áreas de:

- 1) Controlo de Capacidade;
- 2) Controlo de Materiais;
- 3) Controlo de Produto Acabado.

Para além disso, foram realizadas duas formações nas áreas de Segurança e Saúde no Trabalho e de Gestão de Qualidade, Ambiente e Segurança.

De seguida, apresentam-se, sucintamente, os parâmetros principais que são avaliados em cada tipo de controlo.

1) Controlo de Capacidade

Este controlo é realizado de hora a hora com uma amostragem de 5 garrafas. Cada garrafa é previamente identificada e, posteriormente, procede-se ao registo dos seguintes parâmetros:

- O.P. (Ordem de Produção)
- Fornecedor
- Identificação da palete
- Molde
- Capacidade (mL)
- T: Temperatura do vinho (°C)
- Grau alcoólico do vinho (%)
- ρ : Massa volúmica (T)
- ρ corrigida: Massa volúmica (T = 20 °C)
- Tara da garrafa (g)
- Peso bruto (g)
- Nível de enchimento (mm)
- Filtração
- Medição da pressão interna (mbar) → garrafas de rolha de embutir

2) Controlo de Materiais

Neste controlo procede-se à realização de testes (a seguir mencionados) de modo a averiguar a conformidade dos materiais.

Rolha

- Estanquicidade: teste que utiliza azul de metileno em situações de diferentes inputs de pressão.
- Absorção: teste que utiliza azul de metileno para averiguar a absorção deste pela rolha; a garrafa fica deitada durante 8 dias.
- Forças de extração: deve assumir valores na ordem de $30 \text{ dN} \pm 10 \text{ dN}$. A força de extração da rolha tende a diminuir com o tempo em garrafa.
- Classe visual: Flor; Extra; Superior; 1º; 2º; 3º; 4º; 5º.
- Força de introdução
- Análise de TCA através de cromatografia (análise de 80 rolhas por lote).
- Humidade relativa (%): deve assumir valores entre 4 a 9 % de modo a manter a elasticidade adequada e reduzir possíveis riscos de desenvolvimento microbiano.
- Dimensões (comprimento e diâmetro)
- Análise sensorial: amostra de 50 rolhas por lote, $t = 30$ minutos, $T = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, em estufa.

Cápsula

- Verificação da espessura da cápsula: PVC 0,050 – 0,125 mm; PETG 0,035 – 0,065 mm; Complexo de alumínio⁵ 0,100 mm

Garrafa

- Peso da garrafa (tara) (g)
- Triagem de garrafas para análise de defeitos (fissura, seda, bolhas, arrepanhado, martelado, estriado, serrilha, marca do molde)

⁵ Complexo de alumínio: Estratigrafia da cápsula: Alumínio — PEBD — Alumínio

3) Controlo de Produto Acabado

Procede-se à verificação dos fornecedores e de dados dos lotes de cada material que compõe o produto final de modo a averiguar a concordância do produto e possibilitando o rastreamento do mesmo. São analisados os seguintes componentes:

- Garrafa;
- Cápsula;
- Rolha;
- Cartonagem;
- Rótulo;
- Código de barras.

Ao longo deste estágio foram adquiridas competências importantes, das quais se destaca o primeiro contacto e utilização do sistema SAP, um sistema integrado de gestão empresarial. Foram realizadas visitas a fornecedores de rolhas de cortiça, como Cork Supply, Amorim (Top Series) e a J. A. Beira e a um fornecedor de rótulos, a VOX, que foram importantes para conhecer processos de produção de rolhas de cortiça e de rótulos e as suas especificidades. Também, foram realizadas visitas ao principal fornecedor de garrafas de vidro, BA Glass; estas visitas foram de extrema relevância dado que foi possível conhecer os processos e detalhes de produção de uma garrafa de vidro e de decoração da mesma.

A3) Dados de ICV

A3.1) Materiais de Paletização

Apresentam-se, na Tabela 6, os materiais, e respetivas quantidades e pesos, necessários para preparar uma paleta de 6 camadas. Cada camada acondiciona 203 garrafas e o peso total de cada paleta completa é 743,5 kg.

Tabela 6 - Materiais de paletização e respetivas quantidades e pesos

Número por paleta	Denominação do componente	Peso (kg)
1	Estrado de madeira	23
1	Manga PEBD	1,3
7	Intercalares plástico n.º3 alveolar	6,2
1	Tabuleiro de cartão	0,35
1	Filme n.º12	0,112
1 218	Garrafas 75 cL Cockburn's	712,5

A3.2) Tintas cerâmicas para os processos de decoração

Na Tabela 7, são apresentadas as necessidades de tinta cerâmica, por unidade funcional, para o processo de serigrafia. Estas quantidades foram estimadas com base nos protótipos existentes.

Tabela 7 - Quantidades de tinta cerâmica (g) aplicadas no processo de serigrafia por unidade funcional

Azul clara	Azul escura	Dourada	Preta	Total
1,5	1	0,2	0,3	3

Assim, na Tabela 8, constam as quantidades de tinta cerâmica necessárias para os processos de pintura e serigrafia, por unidade funcional, correspondendo à soma das necessidades de tinta respetivas a cada processo.

Tabela 8 - Quantidades de tinta cerâmica (g) necessárias para os processos de pintura e serigrafia por unidade funcional

Branca	Azul clara	Azul escura	Dourada	Preta	Total
0,008	0,0015	0,001	0,0002	0,0003	0,011

A3.3) Consumo energético

Na Tabela 9, é apresentado o consumo de gás natural para cada tipo de processo de decoração, por unidade funcional. Os dados foram obtidos com base em consumos mensais, tendo sido posteriormente normalizados para a unidade funcional.

Tabela 9 - Consumo de gás natural (L) relativo a cada processo de decoração, por unidade funcional

Consumo de gás natural	L
<i>Sleeve</i>	6,057
Serigrafia	20
Pintura e Serigrafia	40

De seguida, na Tabela 10 apresentam-se os dados relativos ao consumo de eletricidade para cada tipo de processo de decoração, por unidade funcional. Os dados foram obtidos com base em consumos mensais, tendo sido posteriormente normalizados para a unidade funcional. É de realçar que, dado não ter sido possível obter dados relativos ao consumo de eletricidade para o processo de pintura, assumiu-se para este parâmetro o dobro do consumo do processo de serigrafia, pois o processo de pintura é repetido duas vezes e a garrafa pintada vai à arca de recozimento duas vezes, tal como é possível constatar no fluxograma do processo (ver Figura 12).

Tabela 10 - Consumo de eletricidade (kWh) relativo a cada processo de decoração por unidade funcional

Consumo eletricidade	kWh
<i>Sleeve</i>	0,017
Serigrafia	0,06
Pintura e Serigrafia	0,18

A3.4) Determinação das emissões de CO₂

Os dados utilizados para determinação das emissões de CO₂ foram obtidos a partir do Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA) publicado em 2013 (ver Tabela 11). Estes valores estão ao abrigo do regime CELE e de acordo com as regras estabelecidas no Regulamento (UE) N.º 601/2012 da Comissão, de 21 de junho.

De seguida, é apresentado um exemplo de cálculo para determinação das emissões de CO₂ associadas à fase de decoração com *sleeve*. O mesmo tipo de cálculo foi efetuado para determinar as emissões de CO₂ associadas às duas outras alternativas de decoração, tendo-se apenas alterado o valor do consumo de gás natural, de acordo com o respetivo processo.

Tabela 11 - Adaptado de Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (INERPA), 2013

Combustível	Fator de Emissão (kg CO ₂ /GJ)	Poder Calorífico Interior (GJ/(Nm ³ ×10 ³))
Gás natural	56,6	38,44

$$\begin{aligned}
 \text{Emissões de CO}_2 &= FE \times PCI \times V \\
 &= 56,5 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{GJ}} \times 38,44 \frac{\text{GJ}}{\text{Nm}^3 \times 10^3} \times 6,057 \times 10^{-3} \text{Nm}^3 \\
 &= 1,32 \times 10^{-2} \text{kg CO}_2
 \end{aligned}$$

A3.5) Categorias de Impacto (resultados)

	Combustão de gás natural	Transporte	PET	Tintas	Cartão canelado	PEBD	Gás natural	Eletricidade	Resíduos PET
<i>Sleeve</i>	1,32E-02	3,95E-02	1,53E-02		2,86E-04	3,53E-03	3,45E-03	6,45E-03	3,10E-04
Serigrafia	4,35E-02	3,89E-02		1,18E-02	2,86E-04	3,53E-03	1,14E-02	2,28E-02	
Pintura e serigrafia	8,70E-02	4,30E-02		4,34E-02	5,71 E-04	7,07E-03	2,28E-02	6,83E-02	

Tabela 12 - Resultados obtidos para a categoria de impacto aquecimento global (kg CO₂ eq)

Tabela 13 - Resultados obtidos para a categoria de impacto formação de ozono com impactos na saúde humana (kg NO_x eq)

	Combustão de gás natural	Transporte	PET	Tintas	Cartão canelado	PEBD	Gás natural	Eletricidade	Resíduos PET
<i>Sleeve</i>	6,64E-06	1,76E-04	2,75E-05		6,14E-07	7,71E-06	4,64E-06	1,56E-05	7,15E-08
Serigrafia	7,86E-03	2,86E-04		1,80E-05	6,14E-07	7,71E-06	1,53E-05	5,49E-05	
Pintura e serigrafia	1,57E-02	1,92E-04		6,59E-05	1,23E-06	1,54E-05	3,07E-05	1,65E-04	

Tabela 14 - Resultados obtidos para a categoria de impacto formação de ozono com impactos nos ecossistemas terrestres (kg NOx eq)

	Combustão de gás natural	Transporte	PET	Tintas	Cartão canelado	PEBD	Gás natural	Eletricidade	Resíduos PET
<i>Sleeve</i>	6,64E-06	1,77E-04	2,90E-05		6,28E-07	8,37E-06	5,05E-06	1,56E-05	7,16E-08
Serigrafia	7,86E-03	2,88E-04		1,91E-05	6,28E-07	8,37E-06	1,67E-05	5,51E-05	
Pintura e serigrafia	1,57E-02	1,93E-04		7,02E-05	1,26E-06	1,67E-05	3,34E-05	1,65E-04	

Tabela 15 - Resultados obtidos para a categoria de impacto acidificação terrestre (kg SO₂ eq)

	Combustão de gás natural	Transporte	PET	Tintas	Cartão canelado	PEBD	Gás natural	Eletricidade	Resíduos PET
<i>Sleeve</i>	2,39E-06	1,06E-03	4,34E-05		7,40E-07	1,06E-05	5,71E-06	3,98E-05	2,91E-08
Serigrafia	2,83E-03	1,44E-04		2,95E-05	7,40E-07	1,06E-05	1,89E-05	1,41E-04	
Pintura e serigrafia	5,66E-03	1,15E-04		1,08E-04	1,48E-06	2,12E-05	3,77E-05	4,22E-04	

Tabela 16 - Resultados obtidos para a categoria de impacto escassez de recursos fósseis (kg óleo eq)

	Transporte	PET	Tintas	Cartão canelado	PEBD	Gás natural	Eletricidade	Resíduos PET
<i>Sleeve</i>	1,32E-02	7,70E-03		8,29E-05	2,05E-03	6,03E-03	1,35E-03	9,96E-07
Serigrafia	1,31E-02		3,58E-03	8,29E-05	2,05E-03	1,99E-02	4,77E-03	
Pintura e serigrafia	1,44E-02		1,31E-02	1,66E-04	4,09E-03	3,98E-02	1,43E-02	