



AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA ALIMENTAR

SARA MANUELA VIEIRA TEIXEIRA PINTO

novembro de 2020

AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA ALIMENTAR

Sara Manuela Vieira Teixeira Pinto
1181832

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



AVALIAÇÃO AMBIENTAL E ECONÓMICA DE SISTEMAS DE VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS PARA APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA ALIMENTAR

Sara Manuela Vieira Teixeira Pinto
1181832

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Energias Sustentáveis, realizada sob a orientação da Professora Doutora Nídia de Sá Caetano e coorientação do Doutor Luís Miguel Oliveira.

2020

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Manuel Carlos Malheiro de Carvalho Felgueiras
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Doutora Nídia de Sá Caetano
Professora Coordenadora do Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador

Doutor Luís Miguel Oliveira
Coordenador de Investigação na Unidade de Desenvolvimento de Produto e Sistemas
no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial,
INEGI

Arguente

Doutora Maria Isabel da Silva Nunes
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

AGRADECIMENTOS

Embora se trate de um trabalho individual, seria difícil alcançar os objetivos a que me propus sem o contributo de diversas pessoas. Mesmo sendo inviável nomear todos, existem algumas a quem não posso deixar de manifestar a minha gratidão, tanto a nível pessoal, como a nível académico, pela paciência que tiveram ao longo desta etapa tão importante na minha formação pessoal e profissional.

À professora Nídia, orientadora desta dissertação, agradeço a sua total disponibilidade e conhecimentos transmitidos.

Ao Luís, orientador na empresa, por me ter posto sempre à vontade para tirar todas as minhas dúvidas, agradeço por todo o apoio e partilha de conhecimento. Obrigada pelo nível de exigência aplicado, que me levou a empenhar-me mais e a desenvolver as minhas capacidades.

À Joana, investigadora na empresa, uma peça fundamental nesta dissertação. Obrigada por toda a paciência, pelos conhecimentos transmitidos e por todas as vezes que se disponibilizou a ajudar-me e a tirar-me todas as dúvidas.

À minha família, agradeço o apoio incondicional e paciência nos dias de mais inquietação, bem como as palavras de carinho e conselhos.

Ao João, por nunca ter duvidado das minhas capacidades e por me fazer acreditar que no final desta difícil etapa iria prevalecer todo o esforço depositado nesta dissertação.

A todos o meu sincero obrigada.

A Prof.ª Nídia de Sá Caetano, orientadora desta dissertação, é membro integrado do LEPABE – Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado pela Unidade de Investigação UID/EQU/00511/2020 - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia – LEPABE - financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Esta dissertação foi realizada no âmbito do projeto mobilizador Norte-01-0247-FEDER-024479: Valor Natural®, financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e com o apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC).

PALAVRAS CHAVE

Aditivos naturais; Avaliação do Ciclo de Vida; Impactes Ambientais; *Material Flow Cost Accounting*

RESUMO

Nesta dissertação aplicou-se a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o método de *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) para a caracterização do desempenho ambiental e económico de aditivos alimentares de origem natural identificados com um *Technology Readiness Level* (TRL) mais elevado, no contexto do Projeto Valor Natural. Este projeto visa mobilizar uma cadeia de valor assente no desenvolvimento de ingredientes naturais nas classes dos conservantes, corantes, aromas e bioativos, para utilização alternativa aos aditivos sintéticos. Com a aplicação da metodologia ACV pretendeu-se demonstrar os pontos críticos dos processos de produção destes aditivos naturais em termos de impactes ambientais. A metodologia MFCA foi aplicada de forma a avaliar e diminuir os custos associados à utilização de recursos reduzindo, simultaneamente, o impacto ambiental.

Os corantes naturais identificados com maior potencial de aplicação foram os corantes derivados de *Hibiscus sabdariffa* L., *Sambucus nigra* L. e *Gomphrena globosa* L. No que respeita aos bioativos naturais foi selecionado o extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente o ergosterol, e o extrato enriquecido em vitamina D2. Uma vez que, o projeto se insere num TRL 2-3, não foi possível obter dados suficientes acerca dos corantes naturais, pelo que não foram efetuadas a estes corantes as análises propostas inicialmente.

O estudo realizado para Avaliação do Ciclo de Vida abrangeu todas as etapas do ciclo de vida, desde o transporte de matéria-prima até à produção do extrato final. A unidade funcional foi definida como 1 g de substrato de origem vegetal convertido em aditivo alimentar. Para quantificar os impactes ambientais, foram utilizados os métodos ReCiPe *Midpoint* (H) – Europe (H) e CML (*Institute of Environmental Sciences*) *baseline* 2001, dos quais foram selecionadas oito categorias de impacto ambiental relevantes para o estudo de extratos naturais.

Relativamente ao extrato enriquecido em micosteróis, constatou-se que nem todos os processos envolvidos nesta produção revelaram ter impacto significativo nas categorias

selecionadas, pelo que após exploração das várias categorias, identificaram-se quais os processos mais impactantes em cada uma, e fez-se uma análise detalhada dos vários impactes dos processos em cada uma das categorias selecionadas. De um modo geral, a fase de liofilização e o transporte de matéria-prima são as etapas que mais contribuem para as categorias de impacte ambiental selecionadas. No processo de liofilização, os impactes devem-se maioritariamente à utilização de energia no processo, e no transporte da matéria-prima, os impactes estão principalmente associados ao consumo de combustível.

Tal como nos extratos enriquecidos em micosteróis, verificou-se que nem todos os processos envolvidos na produção dos extratos enriquecidos em Vitamina D2 apresentavam relevância nas categorias de impacte selecionadas, pelo que foi feita uma análise similar à realizada no caso dos micosteróis. Genericamente, observou-se que o processo de liofilização e o transporte da matéria-prima são as etapas que mais contribuem para as categorias de impacte escolhidas para análise. Tal como no extrato enriquecido em micosteróis, os impactes associados ao processo de liofilização estão maioritariamente relacionados com a utilização de energia no processo e os impactes do transporte da matéria-prima são devidos ao consumo de combustível.

Analisando ambos os extratos, observa-se que na maioria das categorias de impacte, o extrato enriquecido em Vitamina D2 tem mais impacte no meio ambiente do que o extrato enriquecido em micosteróis. Tal pode dever-se ao facto de no primeiro extrato haver mais processos associados à sua produção e também ao facto de para se obter 1 g de extrato enriquecido em Vitamina D2 entrar uma quantidade maior de matéria-prima para o sistema.

KEYWORDS

Natural additives; Life Cycle Assessment; Environmental Impacts; Material Flow Cost Accounting

ABSTRACT

In this dissertation the Life Cycle Assessment (LCA) and the Material Flow Cost Accounting (MFCA) methodological approach were used for the characterization of the environmental and economic performance of the scenarios under study for each food additive of natural origin identified with the highest Technology Readiness Level (TRL) by the partners in the project *Valor Natural*. The LCA study aimed to identify the critical points of the production processes of these natural additives in terms of environmental impacts. The MFCA methodology was applied with aiming to evaluate and reduce the costs associated with the use of resources while reducing environmental impact.

The natural dyes identified with the greatest potential for application were *Hibiscus sabdariffa* L., *Sambucus nigra* L. and *Gomphrena globosa* L. Regarding natural bioactive agents, the extract enriched in mycosterols, namely ergosterol, and the extract enriched in vitamin D2 were selected. Since the project is part of a TRL 2-3, it was not possible to obtain sufficient data on natural dyes, so the analysis initially proposed on these dyes was not carried out.

The study carried out for the life cycle assessment covered all stages of the life cycle, from raw material transportation to the production of the final extract. The functional unit was defined as 1 g of substrate of vegetable origin converted into food additive. To quantify environmental impacts, ReCiPe Midpoint (H) - Europe (H) and CML (Institute of Environmental Sciences) baseline 2001 methods were used, from which eight environmental impact categories relevant to the study of natural dye extracts were selected.

Regarding the extract enriched in mycosterols, it was found that not all processes involved in this production had a relevant influence on the quantified impacts of the selected categories. Therefore, after exploring the various categories, it was identified which processes had the highest impact on each one and a detailed analysis of the various impacts of the processes on each of the selected categories was made. In general, the freeze-drying phase and the transportation of raw materials are the stages that contribute the most to the selected categories of environmental impact. In the

freeze-drying process, the impacts are mainly due to energy use in the process and in raw material transportation the impacts are mainly associated with fuel consumption.

As in the extracts enriched in mycosterols, it was verified that not all the processes involved in the production of the extracts enriched with Vitamin D2 were relevant in the selected impact categories. As such, a similar analysis to the one performed in the case of the mycosterols was conducted. Generally, it was observed that the freeze-drying process and the transportation of the raw material are the flows that most contribute to the impact categories chosen for analysis. As noted for the extract enriched in mycosterols, for the extracts enriched with Vitamin D2 the impacts associated with the freeze-drying process are mostly related to energy use in the process and the impacts of raw material transportation are due to fuel consumption.

Analyzing both extracts, it was concluded that in most of the impact categories, the extract enriched in Vitamin D2 has higher impact on the environment than the extract enriched in mycosterols. This may be due to the fact that in the first extract there are more processes associated with its production and also to the fact that to obtain 1 g of extract enriched in Vitamin D2 it is needed a bigger quantity of raw material to feed the system.

LISTA DE ABREVIATURAS

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
CE	Comissão Europeia
CML	<i>International Environmental Sciences</i>
DALY	<i>Disability Adjusted Life Years</i>
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
DMSO	Dimetilsulfóxido
EUA	Estados Unidos da América
ICV	Inventário de Ciclo de Vida
INEGI	Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
GEE	Gases de Efeito de Estufa
MFCA	<i>Material Flow Cost Accounting</i>
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
TRL	<i>Technology Readiness Level</i>
UAE	Extração Assistida por Ultrassons
UF	Unidade Funcional

GLOSSÁRIO DE TERMOS

Technology Readiness Level [1]

Sistema de medição sistemática que auxilia as avaliações da maturidade de uma tecnologia particular e a comparação de maturidade entre diferentes tipos de tecnologia.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Títulos de notícias recentes confirmando a tendência das grandes companhias em banir o uso de aditivos sintéticos nos seus produtos alimentares, alertando também para os perigos do seu consumo para a saúde humana.	2
Figura 2 - Diagrama de um estado de sistema.	17
Figura 3 - Representação esquemática do conceito de caixa preta dos processos unitários.	19
Figura 4 - Etapas de um estudo ACV adaptado de ISO 14040:2006.	20
Figura 5 - Etapas a seguir para a realização do Inventário de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14044:2010).	22
Figura 6 - Esquema simplificado da etapa de avaliação de impacto de ciclo de vida.	23
Figura 7 - Material Flow Cost Accounting (Adaptado de [39]).	29
Figura 8 - Etapas de implementação do MFCA (adaptado de ISO 14051:2011).	30
Figura 9 - Technology Readiness Level [41].	35
Figura 10 - Fases do ciclo de vida da produção dos aditivos naturais considerados na análise do desempenho ambiental.	36
Figura 11 – Inventário do ciclo de vida do extrato enriquecido em micosteróis.	40
Figura 12 – Inventário do ciclo de vida do extrato enriquecido em Vitamina D2.	42
Figura 13 – Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L., rico em delphinidina-3-O-sambubiósido.	45
Figura 14 - Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de <i>Sambucus nigra</i> L., rico em cianidina-3-O-sambubiósido.	47
Figura 15 – Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de <i>Gomphrena globosa</i> L., rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III.	48
Figura 16 - Fase de produção do extrato enriquecido em micosteróis: desempenho ambiental através dos métodos ReCiPe e CML.	53
Figura 17 - Desempenho ambiental na categoria "Oxidação Fotoquímica" - Ergosterol.	55
Figura 18 - Desempenho ambiental na categoria "Consumo de água" - Ergosterol.	55
Figura 19 - Desempenho ambiental na categoria "Emissões de Partículas"- Ergosterol.	56
Figura 20 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização Marinha" - Ergosterol.	57
Figura 21 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização de Água Doce"- Ergosterol.	58
Figura 22 - Desempenho ambiental na categoria "Acidificação" - Ergosterol.	59
Figura 23 - Desempenho ambiental na categoria "Depleção da Camada de Ozono" - Ergosterol.	59
Figura 24 - Desempenho ambiental na categoria "Alterações Climáticas" - Ergosterol.	60
Figura 25 - Fase de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2: desempenho ambiental através dos métodos ReCiPe e CML.	61
Figura 26 - Desempenho ambiental na categoria "Oxidação Fotoquímica" - Vitamina D2.	63
Figura 27 - Desempenho ambiental na categoria "Consumo de água" - Vitamina D2.	64
Figura 28 - Desempenho ambiental na categoria "Emissões de Partículas"- Vitamina D2.	64
Figura 29 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização Marinha" - Vitamina D2.	65

Figura 30 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização de Água Doce" - Vitamina D2.	66
Figura 31 - Desempenho ambiental na categoria "Acidificação" - Vitamina D2.	67
Figura 32 - Desempenho ambiental na categoria "Depleção da Camada de Ozono" - Vitamina D2.	68
Figura 33 - Desempenho ambiental na categoria "Alterações Climáticas" - Vitamina D2.	68

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Características relevantes dos estudos de ACV selecionados.	12
Tabela 2 - Identificação das categorias de impacto do método de avaliação de impacto de ciclo de vida ReCiPe 2016 [31].	25
Tabela 3 - Categorias de dano do método de avaliação de impacto de ciclo de vida ReCiPe 2016 [31].	26
Tabela 4 - Escolha de valores na modelação ambiental de ciclo de vida da emissão e gases com efeito de estufa [31].	26
Tabela 5 - <i>Material Flow Cost Accounting</i> : Tipos de Custos.	31
Tabela 6 - Identificação dos aditivos alimentares de origem natural em estudo.	37
Tabela 7 - Inventário do transporte da matéria-prima.	37
Tabela 8 - Métodos de cálculo selecionados e descrição das respetivas categorias de impacto.	39
Tabela 9 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato enriquecido em micosteróis.	41
Tabela 10 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato enriquecido em vitamina D2.	43
Tabela 11 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L., rico em delphinidina-3-O-sambubiósido.	45
Tabela 12 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de <i>Sambucus nigra</i> L., rico em cianidina-3-O-sambubiósido.	47
Tabela 13 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de <i>Gomphrena globosa</i> L., rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III.	49
Tabela 14 - Desempenho ambiental das várias etapas de produção do extrato enriquecido em micosteróis através dos métodos ReCiPe e CML 2001.	54
Tabela 15 – Desempenho ambiental das várias etapas de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2 através dos métodos ReCiPe e CML 2001.	62
Tabela 16 - Fluxo de custos associados ao processo de produção do extrato enriquecido em micosteróis.	70
Tabela 17 - Fluxo de custos associados ao processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2.	71
Tabela 18 - Lista de inventário (por ingrediente).	88
Tabela 19 - Lista de inventário de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L.	92
Tabela 20 – Lista de inventário de <i>Sambucus nigra</i> L.	93
Tabela 21 - Lista de inventário de <i>Gomphrena globosa</i> L.	94
Tabela 22 - Lista de inventário de <i>Curcuma longa</i> L.	95
Tabela 23 - Lista de inventário de extrato enriquecido em micosteróis	98
Tabela 24 - Lista de inventário de extrato enriquecido em Vitamina D2	99

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento e motivação.....	1
1.2	Objetivos da Dissertação.....	3
1.3	Estrutura da Dissertação	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Avaliação do Ciclo de Vida	7
2.2	<i>Material Flow Cost Accounting</i>	12
3	METODOLOGIA.....	17
3.1.	Avaliação do Ciclo de Vida	18
3.1.1	Definição de Objetivos e Âmbito.....	20
3.1.2	Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	21
3.1.3	Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)	23
3.1.4	Interpretação do Ciclo de Vida.....	27
3.1.5	Limitações.....	27
3.2.	<i>Material Flow Cost Accounting</i>	28
4	CASO DE ESTUDO	35
4.1	Objetivo e Âmbito	35
4.2	Unidade Funcional.....	36
4.3	Fronteiras do Sistema.....	36
4.4	Inventário do Ciclo de Vida	36
4.5	Bioativos Naturais	39
4.6	Corantes Naturais.....	44
5	RESULTADOS	53
5.1	Interpretação de resultados (ACV).....	53
5.1.1	Extrato enriquecido em micosteróis	53
5.1.2	Extrato enriquecido em Vitamina D2.....	60
5.2	Interpretação de Resultados (MFCA).....	69
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
6.1	Conclusões da ACV	76
6.1.1	Extrato enriquecido em micosteróis	76
6.1.2	Extrato enriquecido em Vitamina D2.....	77
6.2	Principais limitações.....	77

6.3 Sugestões para trabalhos futuros	78
BIBLIOGRAFIA.....	81
ANEXOS	87
A1. Questionário Enviado.....	87
A2. Resposta dos parceiros	89
Corantes Naturais.....	89
Bioativos naturais.....	95

INTRODUÇÃO

- 1.1 ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO**
- 1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO**
- 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi desenvolvida no âmbito da unidade curricular Dissertação/Projeto/Estágio, que integra o segundo ano do Mestrado em Energias Sustentáveis do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Esta dissertação foi desenvolvida no *INEGI – Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial*, cujo objetivo incide na análise da caracterização de potenciais impactes ambientais dos novos aditivos alimentares de origem natural, em desenvolvimento no âmbito do projeto mobilizador Valor Natural.

Neste capítulo é realizado o enquadramento do tema da dissertação e são apresentados os objetivos. Por fim, será exposta a organização da estrutura utilizada na presente dissertação.

1.1 Enquadramento e motivação

O interesse pelo uso de aditivos alimentares tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, em parte motivado por uma indústria que necessita de melhorar o tempo de prateleira dos seus produtos, bem como torná-los mais apelativos para um consumidor cada vez mais exigente.

Atualmente existem mais de 2500 aditivos alimentares, na sua maioria utilizados como conservantes, sendo o uso de aditivos de origem sintética uma prática corrente no setor alimentar. No entanto, os malefícios para a saúde humana associados ao consumo destes aditivos são cada vez mais conhecidos (efeitos toxicológicos ou alergénicos) e suportados por diversos estudos [2]; [3]; [4]. Como consequência, o consumidor atual, caracterizado por ser mais consciencioso e instruído, tem vindo a dar preferência a alimentos isentos de aditivos de origem sintética.

Existe uma grande discrepância entre a legislação Europeia e Norte Americana [2]; [3]; [4], o que tem ganho uma importância crescente. De facto, a situação é preocupante, dado que certos ingredientes autorizados nos Estados Unidos são proibidos na Europa, e vice-versa. Por exemplo, o sorbato de sódio (E201), o verde rápido (E143) e a fluoresceína, são autorizados nos Estados Unidos da América (EUA), e proibidos pela legislação europeia, enquanto o p-hidroxibenzoato de sódio (E217), o ciclamato (E952) e o azul patenteado V (E131), são autorizados na Europa, mas de uso proibido nos EUA. Assim, tendo por base o facto de o uso de aditivos de origem química ser cada vez mais restringido pela legislação alimentar (Regulamento CE 1331/2008), é provável que a proibição de muitos destes ingredientes na indústria alimentar se torne real, no futuro

próximo, exigindo a sua substituição, nomeadamente por soluções de origem natural, que ofereçam maior segurança e confiança ao consumidor.

Atualmente, alguns destes aditivos só podem ser utilizados se for mencionado no rótulo “pode causar efeitos negativos na atividade e atenção das crianças”. Esta situação tem levado a indústria, nomeadamente os grandes grupos empresariais na área alimentar, a evitar o uso de ingredientes sintéticos nos seus produtos, como forma de tranquilizar e recuperar a confiança dos seus consumidores. Exemplos disso são a M&Ms e a Mars que decidiram deixar de usar corantes artificiais nos seus produtos. Também a Nestlé, seguindo a mesma via, passou a produzir chocolates livres de aditivos químicos, sendo que a Coca-Cola e a Pepsi alteraram a sua fórmula para evitar o alerta cancerígeno. Os comerciantes de bacalhau começaram a recusar a introdução de fosfatos, tendo levado a proposta à Comissão Europeia (CE). O perigo dos sulfitos adicionados à carne picada foi também amplamente noticiado [5];[6];[7];[8];[9]. Num contexto mais alargado, foram várias as agências noticiosas por todo o mundo a alertar para os perigos inerentes ao consumo de ingredientes artificiais, através da divulgação dos efeitos adversos para a saúde humana, e da retirada de alguns destes ingredientes do mercado (Figura 1).



Figura 1 - Títulos de notícias recentes confirmando a tendência das grandes companhias em banir o uso de aditivos sintéticos nos seus produtos alimentares, alertando também para os perigos do seu consumo para a saúde humana.

O interesse por alimentos funcionais também tem vindo a aumentar devido aos benefícios conferidos pela presença de moléculas bioativas, principalmente provenientes de matrizes naturais.

O mercado dos alimentos funcionais tem estado em contínua expansão [10], estimando-se que o valor anual no mercado Europeu, no que respeita a estes produtos, se situe

entre os 6 e os 20 milhões de euros, ocupando o terceiro lugar no mercado alimentar devido à elevada contribuição da Alemanha, França, Reino Unido e Países Baixos. Em particular, nas bebidas funcionais, nomeadamente as bebidas lácteas com características funcionais, os seus produtos tiveram um crescimento de 2,5% entre 2008 e 2011 na América Latina [11]; [12]; [13].

A crescente associação de efeitos negativos ao consumo de alimentos com aditivos artificiais propulsionou a procura por novos aditivos alimentares de origem natural, tanto pela indústria alimentar como por parte dos consumidores. Os aditivos sintéticos conduzem a efeitos negativos, quer para o ser humano (principalmente relacionados com doenças crónicas como hipertensão e diabetes [14]), quer para o ambiente (uma vez que estes aditivos são constituídos por substâncias químicas, o que pode levar à contaminação das águas e dos solos e à perda de biodiversidade). Assim é importante o desenvolvimento de aditivos com base em produtos naturais, menos nocivos para a saúde e para o ambiente, sendo por isso essencial assegurar que a produção dos novos ingredientes naturais seja competitivamente mais sustentável.

1.2 Objetivos da Dissertação

A presente dissertação tem como objetivo contribuir para o desenvolvimento das soluções sustentáveis de engenharia a desenvolver para os novos aditivos alimentares de origem natural, novos produtos alimentares e novos equipamentos produtivos, promovendo práticas sustentáveis, e permitindo uma integração plena de soluções ambientalmente mais favoráveis.

A determinação do desempenho ambiental dos processos e respetiva solução integrada será efetuada através da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma metodologia normalizada aceite internacionalmente. Uma vez que a ACV avalia apenas a componente ambiental do produto em análise, necessita de ser complementada com uma avaliação dos custos. Desta forma, será aplicada a metodologia *Material Flow Cost Accounting* (MFCA), ao produto em análise.

O estudo de Avaliação do Ciclo de Vida conduzido nesta dissertação tem como objetivo caracterizar o desempenho ambiental dos aditivos naturais, de modo a contribuir para o desenvolvimento das soluções sustentáveis de engenharia, promovendo práticas sustentáveis, e permitindo uma integração plena de soluções ambientalmente favoráveis. O estudo da metodologia de MFCA tem como objetivo avaliar e diminuir os custos associados à utilização de recursos reduzindo, simultaneamente, o impacto ambiental.

Embora os aditivos alimentares sejam, em termos mássicos, constituintes menores dos produtos, o seu impacto pode realmente ser significativo; no entanto a maioria dos estudos de ACV e MFCA, negligência a incorporação de aditivos alimentares nos produtos. Um dos motivos que sustenta a exclusão de aditivos do estudo, prende-se

com o facto de, dada a complexidade dos estudos de avaliação ambiental e económica, ser usual limitar a fronteira de sistemas complexos usando regras de *cut-off* mássicos, isto é, excluindo processos ou produtos que tenham pouca representatividade em termos mássicos, como é o caso dos aditivos alimentares.

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos. Após esta introdução, no capítulo 2 é efetuada uma análise de vários estudos, abordando a temática de Avaliação do Ciclo de Vida e de *Material Flow Cost Accounting*. No capítulo 3, é feita uma breve explicação sobre os temas abordados desta dissertação. No capítulo 4, apresenta-se o caso objeto de estudo, incluindo a descrição dos dados referentes à produção de cada um dos extratos, bem como uma explicação do seu ciclo de vida, desde o transporte da matéria-prima necessária, até à obtenção do produto final. No capítulo 5, são apresentados e discutidos os resultados obtidos. No capítulo 6, são apresentadas as principais conclusões do trabalho executado nesta dissertação, incluindo limitações do estudo e sugestões para o trabalho futuro.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
- 2.2 *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING*

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), combinada com a metodologia de *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) para avaliação ambiental e económica da produção de aditivos alimentares está ainda numa fase embrionária.

A análise à literatura do estado da arte apresenta diversas referências em que a metodologia da ACV é aplicada para analisar os impactes ambientais na indústria alimentar.

2.1 Avaliação do Ciclo de Vida

No estudo de Forte et al. [15], foi utilizado o *software GaBi Pro* [16] usando o *ReCiPe 2016* como método para a Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV) da produção da Celulose Bacteriana (CB). Esta ACV incluiu não só a produção de CB, a energia e os equipamentos utilizados, mas também a extração de recursos naturais e a sua transformação e disposição dos resíduos produzidos (*cradle-to-gate*). A unidade funcional desta ACV foi definida como 1 kg de CB (0,72%), em água acondicionada num recipiente plástico e uma caixa de cartão. Os processos envolvidos no ciclo de vida foram categorizados em: produção de celulose bacteriana, produção de materiais, produção de agentes de arrefecimento e aquecimento, produção de equipamentos, transporte, produção de energia elétrica e tratamento de efluentes. A produção de materiais que inclui a extração de recursos naturais e a transformação de materiais utilizados, foi responsável pela maior parte dos fluxos de entrada e saída, sendo que vários processos dentro desta categoria foram identificados como pontos fracos. Os resultados de impacte ambiental baseados na *ReCiPe 2016* mostraram que o tratamento de águas residuais teve um grande impacte na categoria de “Alterações climáticas” devido, principalmente, à produção de vapor e hidróxidos de cálcio necessários para o processo de águas residuais. A produção de materiais é responsável por impactes significativos nas mesmas categorias de impacte. A produção de agentes de arrefecimento e aquecimento, neste caso a água de arrefecimento e vapor, tem um impacte significativo em “Escassez de recursos fósseis” e “Consumo de água doce”.

A análise de Smetana et al. [17] incluiu dois tipos de ACV: quatro ACV atribucionais (A-ACV), de forma a calcular os potenciais impactes ambientais (*cradle-to-gate*) para quatro produtos em análise e um ACV consequencial (C-ACV) que analisa os efeitos da produção e consumo de alimentos à base de insetos para um produto. Para efetuar a ACV foi utilizado o *software SimaPro v8.2.0.0* e a informação disponível na base de dados *Ecoinvent 3.1* (fornecimento de eletricidade e água, geração de calor, etc.). A A-ACV foi realizada com base nos seguintes produtos: 1 kg de fertilizante orgânico seco e

peletizado (UF1); 1 kg de biomassa fresca de uma mosca *black soldier* (MBS) (puré) usado como componente para a produção de ração para animais de companhia (UF2); 1 kg de farinha concentrada de proteína usada como ingrediente alimentar (UF3); 1 kg de gordura de MBS usada como aditivo alimentar para a produção de carne suína (UF4). A modelagem C-ACV foi realizada com base num único produto: *Hermetia illucens* biomassa fresca ou farinha concentrada de proteína. Os resultados da A-ACV mostraram que a produção atual de insetos é uma alternativa mais sustentável para produzir proteínas, fertilizantes e lípidos. A produção de fertilizantes, mesmo numa fase inicial, foi mais favorável ao meio ambiente em comparação com os fertilizantes orgânicos convencionais. Uma maior aplicação de fluxos laterais não utilizados ou de fontes alternativas de energia para processamento resultará numa fonte de proteínas mais benéfica do que a maioria das alternativas conhecidas. O impacto ambiental da produção de insetos dependeria adicionalmente da substituição do tratamento de biomassa não utilizada, das opções alternativas de utilização e da sua distribuição geográfica. Finalmente, o estudo da C-ACV indicou que a transformação de resíduos orgânicos em biomassa de *H. illucens* poderia resultar em menores impactos ambientais se a compostagem ou digestão anaeróbia (como tecnologia de tratamento de resíduos) fosse evitada.

No estudo de Pérez-López et al. [18], foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida da produção de compostos bioativos com aplicações nos setores farmacêutico e alimentar a partir da microalga *Tetraselmis suecica*. Assim, o ciclo de vida foi dividido em cinco etapas: i) esterilização; ii) inoculação e cultivo; iii) colheita; iv) extração e v) digestão anaeróbia. Este estudo focou-se essencialmente na produção e extração de pigmentos: α -tocopherol, clorofila, β -carotenoides e polifenóis, em combinação com os ácidos gordos polinsaturados. O α -tocopherol, clorofila e β -carotenoides, são utilizados como aditivos alimentares. Em relação aos polifenóis, estes são utilizados como corantes (nos setores de alimentos e tecidos). Neste estudo, foi considerado o uso da mistura de algas obtida após a extração para a produção de biogás (cenário base) ou para a produção de um substituto do fertilizante à base de azoto mineral (cenário alternativo). A unidade funcional desta ACV foi definida como 1 kg de biomassa de *Tetraselmis suecica*. A produção de *Tetraselmis suecica* em escala piloto foi realizada num fotobiorreator interior, que consiste numa coluna de borbulhamento vertical. O processo de produção de compostos bioativos a partir de microalgas foi analisado, principalmente, usando dados de campo da unidade piloto (ou seja, dados primários). Assim, dados representativos do sistema de cultivo, colheita e extração de algas no terreno foram recolhidos no local e corresponderam as quantidades de produtos químicos (nutrientes, solventes, agentes de lavagem) necessárias para as etapas de cultivo e extração, bem como ao material e equipamento de laboratório (artigos de vidro, vidros, biorreatores e sistema de iluminação). A distribuição de entradas (nutrientes, solventes, materiais de equipamento, agentes de lavagem e água do mar) e resíduos para as estações de tratamentos também foi considerada dentro dos limites do sistema. O perfil ambiental foi apresentado entre as seguintes categorias de impacto: potencial de redução abiótica (PRA), potencial de acidificação (PA), potencial de aquecimento global num período de

100 anos (PAG), potencial de redução da camada de ozono (PRCO) e potencial de formação de oxidantes fotoquímicos (PFOF). Além disso, foi realizada uma análise energética baseada na procura cumulativa de energia fóssil e nuclear não renovável (PCE). Para efetuar a ACV foi utilizado o *software SimaPro 7.3* e um conjunto de dados da *Ecoinvent*. Os ácidos gordos polinsaturados foram os compostos com maior contribuição para o perfil ambiental. A etapa de cultura, incluindo o desenvolvimento do inóculo, é a principal responsável das contribuições para todas as categorias de impacto. O grande papel deste processo no perfil global é principalmente devido à relevância das entradas de: nutrientes, atividades de transporte e consumo de eletricidade. Esta etapa considera o consumo de eletricidade para o funcionamento do fotobiorreator e bombas associadas e o fornecimento de ar enriquecido com CO₂. A contribuição do processo de extração é o segundo maior contribuidor para o perfil ambiental do sistema, especificamente em termos de PRA, PAG e PCE. Este processo envolve a produção e distribuição dos solventes necessários em cada processo de extração e a produção da eletricidade necessária correspondente. As contribuições das etapas de esterilização e de colheita são quase insignificantes, principalmente devido a baixos requisitos de eletricidade e contribuição mínima associada ao uso de produtos químicos. Este estudo destaca ainda uma etapa denominada “outros” que envolve a produção dos equipamentos (reatores, lâmpadas, materiais de laboratório, etc.) necessários durante todo o ciclo de vida, bem como o tratamento final destes materiais no final da sua vida útil. As etapas de esterilização e colheita têm contributos quase nulos devido às baixas necessidades de eletricidade e à contribuição mínima associada ao uso de produtos químicos de lavagem. É notável que a grande contribuição para o impacto ambiental está associada ao elevado uso de nutrientes (ou seja, fertilizantes) e eletricidade.

O estudo de Tedesco et al. [19], tem como objetivo avaliar o impacto ambiental da bioconversão dos resíduos de frutas e vegetais (RFV) em farinha de minhoca para ser utilizada como uma nova fonte de alimentação. Tal como os insetos, as minhocas são ricas em proteínas, particularmente em aminoácidos essenciais e podem contribuir para a nutrição humana e animal. Nesta investigação a unidade funcional definida foi 1 kg de farinha de minhoca seca. O processo de produção de farinha de minhocas foi dividido em dois subsistemas: SS1, caracterizado pela produção de minhocas frescas e vermicomposto e SS2, em que as minhocas frescas são utilizadas para a produção de refeições. Para a produção de farinha seca foram considerados dois cenários de transformação tecnológica dependendo do destino final da refeição: cenário FOOD e cenário FEED. Para o primeiro cenário, para produzir farinha seca foi utilizado o método de secagem por congelamento a vácuo, de seguida as minhocas foram liofilizadas e, por fim, moídas. Para o segundo cenário, a farinha seca foi produzida num laboratório através da secagem das minhocas num forno a 65 °C até um peso constante, sendo moídas no final. Como fronteira do sistema foi considerada o “*cradle-to-gate*”. Foram incluídas as seguintes atividades: extração de matérias-primas (combustíveis fósseis, metais e minerais), e processamento (diesel, eletricidade, água corrente e camiões para transporte de RFV). As emissões para a atmosfera (óxido nitroso, metano, etc.)

relacionadas com a vermicompostagem de RFV também foram incluídas. A embalagem, distribuição, uso e fim de vida útil da refeição produzida foram excluídos dos limites do sistema. Os dados primários foram recolhidos através de entrevistas com o agricultor e os dados secundários foram obtidos a partir da base de dados *Ecoinvent*. Considerando que o sistema implica a produção de diferentes produtos, foi feita uma alocação. O sistema atual de criação, tem como produto principal uma biomassa de minhocas que cresce numa mistura de RFV, que é posteriormente transformada em farinha de minhoca. O vermicomposto é produzido como um coproduto. Como os dois outputs são produzidos em quantidades muito diferentes, a partilha do impacte ambiental foi realizada com uma alocação económica, a fim de evitar a atribuição de um impacte desequilibrado. A farinha de minhoca tem atualmente elevados impactes ambientais, principalmente devido às emissões durante a vermicompostagem, transporte de RFV para a produção de minhocas frescas, e uso de energia durante o processamento. A liofilização em vez da secagem em forno determina um maior impacte ambiental para o cenário FOOD em relação ao cenário FEED. Para tornar a farinha de minhoca sustentável e competitiva no mercado, é essencial aumentar a produtividade da minhoca e reduzir o consumo de energia durante o processamento, mudando para fontes de energias renováveis. As minhocas como ingrediente das proteínas alimentares podem ajudar a substituir, parcialmente, o uso da farinha de soja e de peixe na alimentação animal ou serem utilizadas como aditivo alimentar, enquanto que a minhoca cultivada num substrato alimentar seguro pode ser um suplemento dietético ideal.

O estudo de Vauchel et al. [20], está centrado na tecnologia dos Emirados Árabes Unidos (EAU), que tem sido largamente aplicada na valorização de compostos bioativos a partir de matérias-primas agroalimentares, subprodutos ou resíduos. O estudo explorou as potencialidades deste modelo para aprofundar a análise através da realização da ACV do processo, com o objetivo de avaliar o seu desempenho ambiental. A unidade funcional desta ACV foi definida como a obtenção de 0,55l de extrato de chicória com capacidade equivalente a 220mmol de Trolox. Como fronteira do sistema foi considerado o “*gate-to-gate*”. Para efetuar a ACV foi utilizado o *software SimaPro v8.3* e a informação disponível na base de dados *Ecoinvent v.3* foi empregue para modelar as entradas (equipamentos, água, etanol, eletricidade) e processos (transporte, tratamento de águas residuais, tratamento dos equipamentos em fim de vida). De acordo com os resultados do LCA, o aquecimento do solvente levou a impactes maiores para todas as categorias de impacte devido a um aumento do consumo de energia na fase de extração e o uso de etanol como solvente apareceu como um ponto crítico, conduzindo a um aumento do impacte ambiental do material. Este estudo destacou a importância de considerar o desempenho ambiental do processo em critérios de eficiência, solventes e consumo de energia, na perspetiva de desenvolver soluções mais sustentáveis.

No estudo de Rodríguez-Meizoso [21], foi mencionado que o alecrim é uma das fontes naturais mais apreciadas para compostos bioativos com diferentes propriedades como antioxidante, antimicrobiano ou anticancerígeno. Entre os diferentes processos de

extração, a extração por fluidos supercríticos (EFS) e a extração por água quente pressurizada (EAQP) têm demonstrado ser técnicas mais seletivas e ecológicas. No entanto, os extratos obtidos por estes processos requerem normalmente uma etapa de secagem (congelamento ou secagem a quente) que tanto consome energia como tempo. Neste artigo foi desenvolvido um novo processo que combina EAQP e formação de partículas em linha (processo de extração de água e formação de partículas em linha, EAPL) para obter pó antioxidante seco de folhas de alecrim numa única etapa. Neste processo, foram também considerados parâmetros relacionados com a eficiência e seletividade da extração (taxa de fluxo de água e temperatura), bem como parâmetros que envolvem a estabilidade da pulverização e formação de pó. A fim de avaliar a viabilidade e o impacto ambiental do novo processo, foi realizada uma comparação com outros processos verdes utilizados para a extração de antioxidantes de folhas de alecrim como o EFS e o EAQP, ambos seguidos de liofilização. Para realizar os cálculos da ACV foi utilizado o *software SimaPro 7.3*. A unidade funcional desta ACV foi definida como 1 kg de extratos de alecrim. Como limite de sistema, para a EFS e EAQP, foi incluída uma etapa de secagem (secagem a vácuo para a EFS e secagem a congelamento para a EAQP). Também foram consideradas a eliminação e emissões sólidas e líquidas nas formas em que são produzidas, ou seja, compostagem, incineração, tratamento de águas residuais ou emissão para a atmosfera. O consumo de energia de cada componente utilizado no processo de extração (forno, bomba congelador, liofilizador e rotavapor) foi calculado com base na sua especificação e tempo de funcionamento. As etapas anteriores à extração e as posteriores à fase de produção não foram consideradas nos limites do sistema, uma vez que, se assume que estas são idênticas para todos os processos. O processo EAPL proporcionou menos impactos ambientais em todas as categorias.

Na Tabela 1, os artigos são descritos conforme características consideradas relevantes para a realização de uma ACV nesta área, tais como, método ACV, fronteiras do sistema e unidade funcional. Por fim, são apresentados dois artigos relacionados com o MFCA relativos à gestão de resíduo.

Tabela 1 - Características relevantes dos estudos de ACV selecionados.

Autor	Produto	Software	Fronteiras do Sistema	Unidade Funcional
Forte et al. [15]	Celulose Bacteriana	GaBi	<i>Cradle-to-gate</i>	1 kg de Celulose Bacteriana (0,72%) em água acondicionada num recipiente plástico e uma caixa de cartão.
Smetana et al. [16]	<i>Hermetia illucens</i>	SimaPro v8.2.0.0	N/A	1 kg de fertilizante orgânico seco e peletizado (UF1); 1 kg de biomassa fresca de MBS (puré) usado como componente para a produção de ração para animais de companhia (UF2); 1 kg de farinha concentrada de proteína usada como ingrediente alimentar (e potencialmente para alimento (UF3); 1 kg de gordura de MBS usada como aditivo alimentar para a produção de carne suína (UF4).
Pérez-López et al. [17]	Microalgas <i>Tetraselmis suecica</i>	SimaPro 7.3	<i>Cradle-to-gate</i>	1 kg de biomassa de <i>Tetraselmis suecica</i>
Tedesco et al. [18]	Minhocas da Terra (<i>Eisenia fetida</i>)	N/A	<i>Cradle-to-gate</i>	1 kg de farinha de minhoca seca
Vauchel et al. [19]	Antioxidantes polifenóis de solos de chicória	SimaPro v.8.3	<i>Gate-to-gate</i>	0,55 L de extrato de solo de chicória apresentando 220 µmol Antioxidante equivalente a trolox
Rodríguez-Meizoso et al. [20]	Pó antioxidante seco de folhas de alecrim	SimaPro v.7.3	<i>Gate-to-gate</i>	Produção de extratos de alecrim (1 kg)

2.2 Material Flow Cost Accounting

Apresenta-se de seguida uma análise à literatura de MFCA, reunindo os estudos similares ao pretendido, de modo a compreender a aplicação da metodologia na indústria alimentar.

Fakoya e Poll [22] analisaram a integração de um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) com a metodologia MFCA numa cervejaria sul-africana, de forma a obter informações sobre custos de resíduos existentes. A integração destes sistemas potencia uma visão transparente do fluxo de recursos existentes dentro da organização, possibilitando a identificação de fases de produção que gerem resíduos. Esta informação poderá ser utilizada na melhoria do apoio à decisão para a redução e/ou reaproveitamento dos mesmos. Durante este estudo, para recolher informação foram realizadas entrevistas aos trabalhadores da cervejaria e recorreu-se ao *website* da empresa para recolher dados adicionais. Da informação recolhida, concluiu-se que foi necessário integrar bases de dados das várias divisões num só sistema para facilitar a troca de informação e que os dados sobre os resíduos não estão integrados entre as divisões. A acessibilidade desta informação, tanto entre as divisões da produção como para o departamento de contabilidade facilitará a integração do MFCA no sistema de

base de dados criado e possibilita uma análise adequada dos resíduos existentes para posterior redução ou reaproveitamento.

Christ e Burrit [23] examinaram a aplicação do MFCA para a melhoria da gestão dos resíduos na indústria da restauração, de forma a melhorar financeiramente e ambientalmente o desempenho dos restaurantes. Este trabalho, embora não tenha feito uma aplicação a um caso de estudo específico, tinha como objetivo demonstrar a importância e o potencial desta ferramenta, bem como a falta de investigação na área. Conclui-se que o MFCA pode auxiliar significativamente na redução do desperdício alimentar, através da identificação dos custos diretos e indiretos que contribuem de forma crucial no apoio à decisão para uma maior poupança de recursos e um melhor desempenho financeiro.

Os artigos previamente descritos focam-se, principalmente, na gestão dos resíduos gerados e não na produção dos alimentos. Após uma extensa pesquisa bibliográfica, concluiu-se que não existe literatura variada sobre a integração de MFCA na indústria alimentar. Isto estabelece um precedente para que os resultados obtidos neste projeto possam enriquecer substancialmente a literatura sobre a integração de MFCA na indústria alimentar, especificamente na análise de aditivos naturais.

METODOLOGIA

- 3.1 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA
- 3.2 *MATERIAL FLOW COST ACCOUNTING*

3 METODOLOGIA

A sustentabilidade é, atualmente, uma temática bastante ativa na indústria alimentar. Devido ao aumento das preocupações ambientais, foram desenvolvidos estudos com o intuito inicial de identificar novas oportunidades e reduzir os impactos ambientais no setor, mas que são simultaneamente uma forma eficaz de ganhar destaque e vantagem competitiva no mercado. Muitos desses estudos são suportados pela metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, que nesta dissertação tem como principal objetivo determinar e otimizar o desempenho ambiental dos novos aditivos alimentares de origem natural e dos novos produtos alimentares, bem como dos seus sistemas produtivos, nomeadamente considerando a utilização de novos equipamentos, e criar uma base científica para melhor compreender os produtos desenvolvidos numa perspetiva ambiental.

Um sistema é definido como um conjunto de peças que se encontram interligadas e que interagem entre si. A interação dos elementos do sistema dentro do seu limite é, normalmente, o foco do estudo. Estas interações ocorrem, geralmente, sob a forma de fluxos, quer de informação, quer físicos, como se observa na Figura 2.

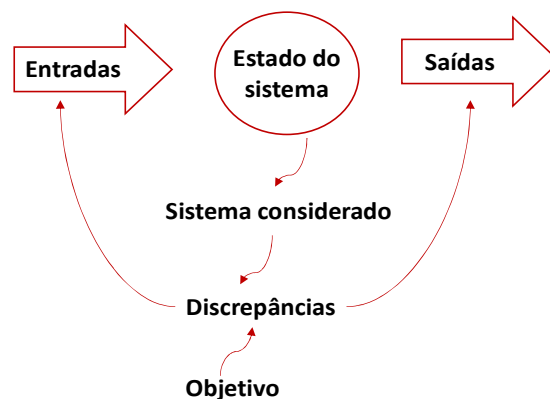


Figura 2 - Diagrama de um estado de sistema.

Definir sistemas é importante, uma vez que um sistema é mais do que os elementos, os seus limites e a sua finalidade. Trata-se do que está sob esses componentes, e de como estão interligados. Por exemplo, dizer que um aditivo natural é um ingrediente que tem menores impactos ambientais, é simplista como um todo. Contudo, pode ser considerado verdade, dependendo dos limites do sistema. Tal facto, depende das condições em que é criado este aditivo, se inclui ou não a produção de energia ou, por exemplo, se inclui ou não a produção dos ingredientes utilizados para o fabrico deste aditivo. Portanto, a definição de um sistema é fundamental para a análise eficaz de qualquer tipo de sistema.

Ainda existe uma desconsideração pela disponibilidade de recursos e materiais. Isto apresenta-se como uma das mais importantes advertências dos tempos modernos, isto é, como devemos promover o crescimento num sistema de recursos finitos. Como é que o ambiente natural lida e reage com a constante procura de recursos finitos? A engenharia do ambiente é uma área recente, onde a necessidade de enfrentar estes obstáculos é abordada. Alguns dos muitos campos de interesse possíveis vão desde lidar com os resíduos até quão tóxico é o produto, ou a que ritmo se esgotam os recursos fósseis.

As fases do ciclo de vida dos produtos têm agora a dedicação de que necessitam com o objetivo de reduzir os seus impactes, otimizar os processos de produção, melhorar o desempenho económico e inovar. Para tal, a fim de permitir atingir estes objetivos foi desenvolvida a avaliação do ciclo de vida, ACV.

3.1. Avaliação do Ciclo de Vida

A abordagem de ciclo de vida implica uma visão geral de um produto ou processo, de modo a ter em conta os potenciais impactes ambientais que advêm de cada fase de vida do caso em estudo, ou seja, desde a extração de matérias-primas, passando pela produção e utilização, até à forma como na fase final o produto é reintegrado no meio ambiente, fechando assim o ciclo.

A ACV está definida na norma definida pela *International Organization for Standardization* (ISO) ISO 14040 [24] como "compilação dos fluxos de entradas e saídas dos impactes ambientais associados a um produto ao longo do seu ciclo de vida", ou seja, permite recolher os principais fluxos de entrada e saída de materiais e de energia, incorporados numa fronteira de sistema definida previamente, e assim dimensionar a quantidade de impactes relativos aos processos que decorrem dentro dessa fronteira de sistema [25].

O objetivo principal da ACV é o de suportar a tomada de decisão no que concerne à melhoria do desempenho ambiental dos sistemas. Quando aplicada na fase de desenho e de desenvolvimento de novos produtos e processos, pode ser utilizada de modo a comparar diferentes configurações alternativas, de modo a minorar os impactes ambientais das novas soluções. Por outro lado, pode ser utilizada para comparar o desempenho ambiental de sistemas distintos, mas com a mesma funcionalidade, de modo a que os principais impactes ambientais e benefícios sejam considerados aquando da tomada de decisão sobre melhorias a introduzir nos processos, na prevenção da poluição e na otimização de utilização de recursos.

Esta metodologia baseia-se nas leis da termodinâmica no que diz respeito à conservação de energia e à quantificação da deterioração da mesma. Com a avaliação do desempenho ambiental de um produto/sistema é possível definir qual é a opção mais favorável ambientalmente [25].

As diferentes fases do ciclo de vida dos produtos e processos têm impactes ambientais associados, por exemplo, ao consumo de recursos e emissões de substâncias. Existem várias categorias de impactes ambientais, como as alterações climáticas, redução da camada de ozono, formação de *smog*, eutrofização, acidificação, escassez de recursos e toxicidade.

A ACV consiste na quantificação e avaliação da significância dos fluxos de entrada e saída dos processos que ocorrem em cada fase no ciclo de vida do produto. O sistema é construído baseado no conceito de caixa preta para cada processo unitário (Figura 3). O processo é descrito em termos de entradas e saídas, sem que sejam caracterizadas as suas interações internas. Os processos unitários estão associados entre si, por meio de fluxos intermédios (Figura 3), cada processo unitário pode representar uma ou diversas atividades, como a fase de produção de um produto e o seu transporte até um armazém de logística.

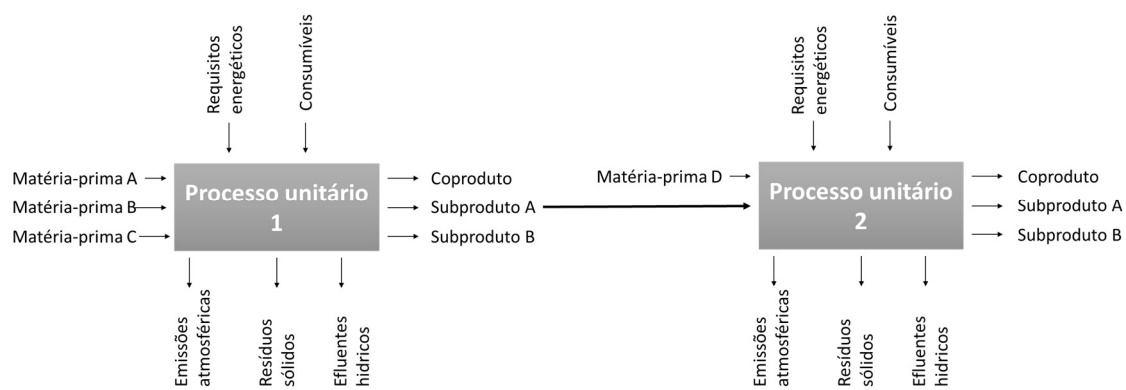


Figura 3 - Representação esquemática do conceito de caixa preta dos processos unitários.

Na etapa de avaliação do impacte do ciclo de vida, as entradas e saídas de cada processo unitário são convertidas em impactes e danos ambientais mediante um processo de cálculo. As normas da série ISO 14000 estabelecem quatro etapas distintas, mas interligadas entre si, na metodologia de ACV (descrita nos próximos capítulos). As etapas são (Figura 4):

1. Definição de objetivos e âmbito;
2. Inventário do Ciclo de Vida (ICV);
3. Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV);
4. Interpretação.

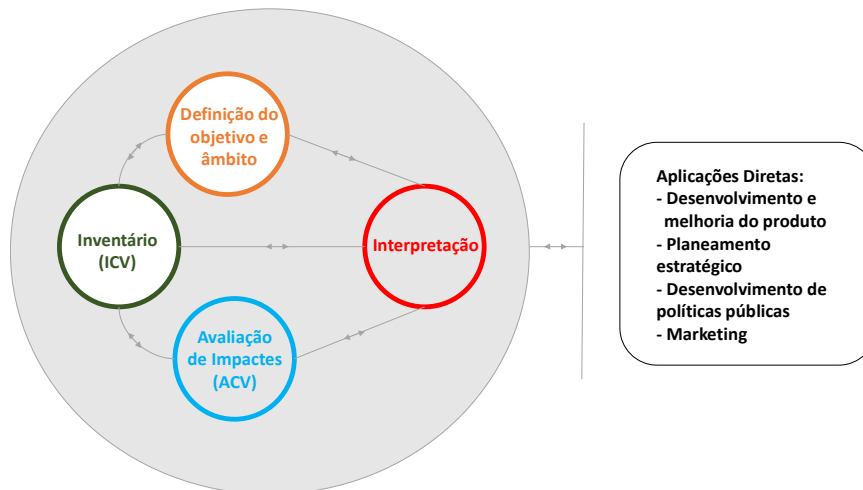


Figura 4 - Etapas de um estudo ACV adaptado de ISO 14040:2006.

3.1.1 Definição de Objetivos e Âmbito

Na primeira etapa da ACV, objetivo e âmbito, identifica-se e descreve-se o sistema em estudo em termos de decisões críticas, isto é, que impactam nas etapas seguintes, como a unidade funcional, fronteiras do sistema e hipóteses delineadas. As decisões críticas sobre o sistema em estudo são passíveis de serem adaptadas, ao longo das outras etapas da ACV.

- **Objetivo**

A descrição do objetivo da ACV contém informação clara e inequívoca sobre o objetivo e aplicação, a motivação por detrás do estudo, o público a que se destina e a forma como os resultados serão utilizados. De modo a conferir uma maior transparência sobre os resultados obtidos, todas as decisões devem ser identificadas. As hipóteses delineadas podem estar associadas a diversos fatores, como limitações na obtenção de dados, até à complexidade elevada dos sistemas em estudo. Os resultados da ACV só são válidos para as premissas elaboradas e hipóteses delineadas nesta etapa.

- **Âmbito**

O âmbito, de acordo com a ISO, está ligado ao objetivo e aborda diferentes informações qualitativas e quantitativas, relacionadas com os parâmetros definidos no estudo. Esta informação inclui os dados relacionados com o sistema do produto analisado, a unidade funcional, a fronteira do sistema, o tipo de inventário e como foi recolhido e, por último, o método de avaliação de impacto selecionado. A abordagem de modelização é também declarada, quer seja atribucional ou consequencial.

- **Unidade Funcional**

A unidade funcional (UF) consiste numa medida de referência quantificável para avaliar o desempenho ambiental do sistema em estudo, a partir da qual todos os fluxos de

entrada e saída dos processos unitários são aferidos e os impactes ambientais quantificados. Esta unidade de referência permite uma comparação do desempenho ambiental entre sistemas alternativos. A seleção de uma UF adequada deve sempre distanciar-se o mais possível das propriedades físicas do produto e concentrar-se na função real do produto.

- **Fronteiras do Sistema**

As fronteiras do sistema delimitam tudo o que está incluído dentro do sistema, assim como definem tudo o que está fora desta fronteira. Todos os fluxos e processos do sistema que fazem parte da avaliação encontram-se incluídos dentro deste limite. Nesta etapa, deve ser realizada uma justificação sobre os fatores e escolhas que levam à decisão que definem os limites. As fronteiras do sistema devem estar em consonância com o objetivo do estudo, porque as decisões sobre a sua extensão afetam diretamente a magnitude dos impactes ambientais.

- **Requisitos da Qualidade dos Dados**

Os requisitos de qualidade dos dados devem ser definidos de modo a permitir que o objetivo e o âmbito de estudo sejam viáveis. Estes requisitos são descritos na ISO 14044 e devem abordar “cobertura temporal, cobertura tecnológica, precisão, exaustividade, representatividade, consistência, reprodutibilidade, fonte e incerteza” [26].

- **Metodologia e Abordagem de Modelação**

Na ACV baseada em processos existem, principalmente, duas abordagens de modelação – ACV-atribucional e a ACV-consequencial. A ACV-atribucional aborda as questões relativas aos encargos ambientais de um sistema alvo. Nesta abordagem, as entradas e saídas estão diretamente ligadas à UF devido à manipulação dos processos unitários do sistema do produto, de acordo com uma regra normativa. Esta abordagem tende a isolar o sistema de produto de fatores externos que regulam a produção de bens e a capacidade de procura [27]. A ACV-consequencial trata das mudanças ambientais num sistema, induzidas por uma alteração do seu estado. Estas alterações podem ter origem numa variação dum fluxo de entrada ou de saída através do sistema. As fronteiras do sistema incluem, normalmente, o grupo de atividades que contribuem para a variação ambiental, mesmo que se situem fora do ciclo de vida do produto.

3.1.2 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A segunda etapa de um estudo da ACV, também designada por Inventário do Ciclo de Vida (ICV), consiste num levantamento de todos os recursos utilizados e de todas as emissões produzidas pelo sistema específico em estudo, relacionando sempre com a unidade funcional já definida [24].

Na etapa de inventário, os fluxos de entrada (ex.: consumos energéticos) e saída (ex.: emissões atmosféricas) de cada processo unitário, considerado nas fronteiras do

sistema em estudo, são quantificados por unidade funcional. De modo a averiguar a qualidade dos dados recolhidos e a sua significância para os potenciais impactes ambientais, pode-se efetuar verificações e análises de sensibilidade. Consoante os resultados obtidos, poder-se-á proceder à redefinição das fronteiras do sistema, de modo a eliminar dados sem significância e a introduzir novos.

Para auxiliar esta tarefa, é frequente recorrer-se à concretização de questionários para recolher os dados necessários à realização da análise de ciclo de vida [28]. À medida que os dados forem obtidos e que se conheça melhor o processo em análise, novos requisitos ou limitações de dados podem requerer uma alteração nos processos de recolha de elementos para que o objetivo do estudo possa ser atingido. Assim sendo, o processo de condução da análise de inventário é iterativo (Figura 5).

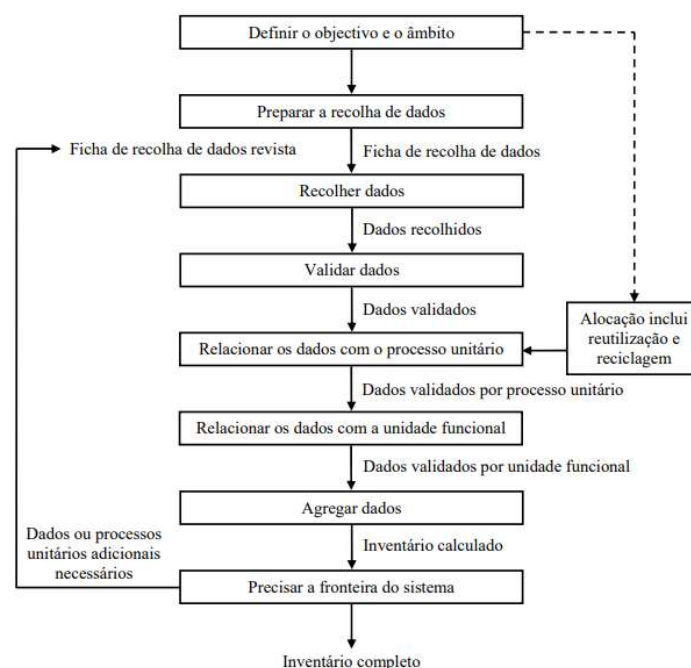


Figura 5 - Etapas a seguir para a realização do Inventário de uma Avaliação do Ciclo de Vida (ISO 14044:2010).

Para evitar potenciais erros, deve ser registada uma descrição de cada processo unitário [26]. Segundo a norma ISO 14044 [26], essas medidas devem incluir:

- Elaboração de diagramas de fluxos de processos gerais que descrevem todos os processos unitários a serem modelados e as suas inter-relações;
- A descrição detalhada de cada processo unitário relativamente aos fatores que influenciam as entradas e os resultados;
- O desenvolvimento de uma lista que especifique as unidades usadas;
- A descrição dos dados e das técnicas de cálculo necessárias;
- O fornecimento de instruções para documentar claramente quaisquer casos especiais e/ou irregularidades associados aos dados fornecidos.

O ICV inclui diferentes subfases tais como: extração de matéria-prima, transporte, produção, consumo e deposição de resíduos.

3.1.3 Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV)

A terceira fase da ACV, designada por Avaliação do Impacte do Ciclo de Vida (AICV), tem como objetivo avaliar a contribuição do produto para as categorias de impacte ambiental, ou seja, a avaliação dos impactes analisa o potencial efeito para o ambiente, que resulta das intervenções ambientais identificadas na fase de ICV [29], de forma a compreender quais os efeitos que estes têm no ecossistema e no Homem.

O resultado da etapa de avaliação de impacte de ciclo de vida consiste na quantificação do desempenho ambiental do sistema em estudo. Os fluxos de entrada e saída recolhidos por processo unitário são convertidos em indicadores de impacte, com base na unidade funcional (Figura 6).

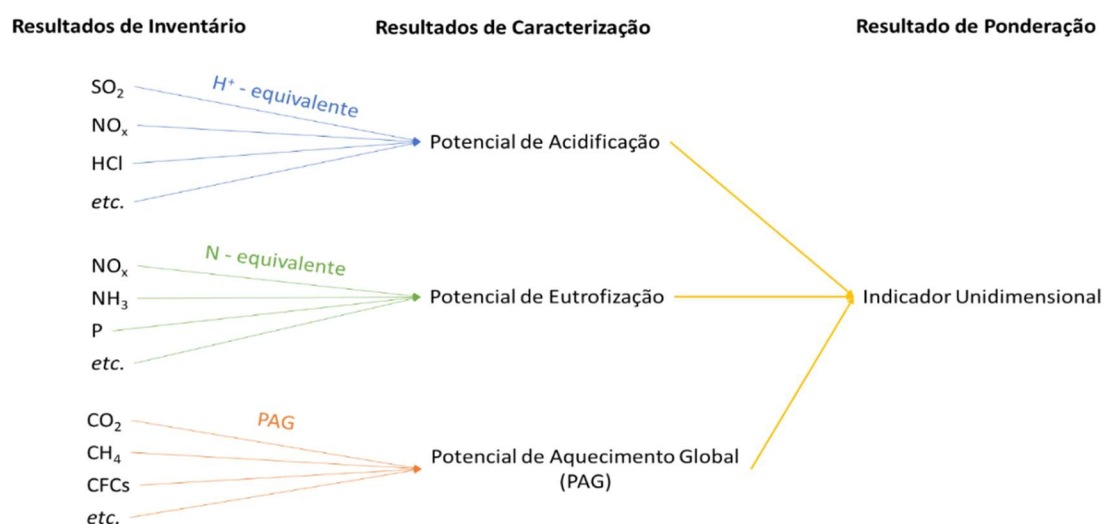


Figura 6 - Esquema simplificado da etapa de avaliação de impacte de ciclo de vida.

Os potenciais impactes do sistema em estudo, são traduzidos em categorias de impacte, cuja identificação é realizada através de métodos de cálculo. Estes métodos seguem duas fases de cálculo obrigatórias, a classificação e caracterização, e duas opcionais, a normalização e ponderação [30], nomeadamente:

1. Classificação – Atribuição dos dados de inventário às categorias de impacte escolhidas;
2. Caracterização – Quantificação dos indicadores de impacte através de fatores de caracterização do método de cálculo escolhido, ex.: Potencial de Aquecimento Global (PAG);
3. Normalização – Relativização da magnitude dos indicadores de impacte através de valores de referência;

4. Ponderação e/ou agrupamento – De modo a facilitar a interpretação dos resultados, utilizam-se fatores numéricos, baseados em escolhas de valor, para ponderar e/ou agrupar as categorias de impacte. Esta fase embora agilize a etapa de interpretação incrementa a incerteza nos resultados obtidos.

A Equação 1 indica como os resultados de inventário geram categorias de impacte, utilizando os fatores de caracterização.

$$\text{Categoria de Impacto} = \sum_s \text{Fator de Caracterização}_s \times \text{Resultado de Inventário}_s \quad (1)$$

Os fatores de caracterização dos impactes ambientais associados a emissões (equações similares estão disponíveis para outros fatores ambientais, como consumo de recursos) são exemplificados na Equação 2.

$$\text{Fatores de Caracterização}_{s,i,t} = \sum_j \frac{\text{Efeito}_{s,j,t}}{\text{Emissão}_{s,t}} \quad (2)$$

Na primeira das fases facultativas, a normalização, o resultado das categorias de impacte é dividido por um valor de referência de forma a equalizar os resultados numa dimensão comum a todos (Equação 3).

$$N_k = \frac{S_k}{R_k} \quad (3)$$

Os resultados normalizados podem ser agrupados, através da utilização de fatores assentes em escolhas de valor, de modo a que a interpretação dos resultados normalizados seja simplificada. A Equação 4 exemplifica um possível processo de cálculo utilizado nesta fase.

$$EI = \sum V_k N_k \quad (4)$$

O *ReCiPe* 2016 [31] é um método de avaliação de impacte de ciclo de vida, cientificamente aceite e utilizado pela comunidade científica, que contempla uma longa lista de categorias de impacte ambiental (com a terminologia de “*midpoint*”) e um número limitado de categorias de dano (com a terminologia de “*endpoint*”). Estes últimos podem ser agregados de forma a gerar um indicador único, de fácil comunicação, embora este valor possua um maior grau de incerteza. Assim, podem ser feitos dois tipos de análise:

1. Análise de pontos intermédios (*midpoint*), que contempla as duas fases obrigatórias de classificação e caracterização. O intuito é compreender como os potenciais impactes estão associados aos processos unitários por categoria de impacte ambiental;
2. Análise de categorias de pontos finais (*endpoint*), de forma a obter-se um rácio que pode ser convertido num indicador unidimensional.

O método *ReCiPe* 2016 possui 3 categorias de pontuação final “*endpoint*” (saúde humana, ecossistema e escassez de recursos) e 17 pontos intermédios “*midpoint*”, que conseguem cobrir de uma forma global e expedita a caracterização ambiental de um vasto leque de ciclos de vida de diferentes sistemas. As categorias de impacto do método de *ReCiPe* 2016 estão identificadas na Tabela 2 em termos de indicadores, fatores de caracterização e unidades.

Tabela 2 - Identificação das categorias de impacto do método de avaliação de impacto de ciclo de vida *ReCiPe* 2016 [31].

Categorias de Impacte	Indicador	Fator de Caracterização	Unidade
Aquecimento global	Aumento da força infravermelha radiativa	PAG	kg CO ₂ -eq atmosférico
Empobrecimento da camada de ozono	Decaimento de ozono estratosférico	Potencial de empobrecimento da camada de ozono	kg CFC-11-eq atmosférico
Radiação Ionizante	Aumento da dose absorvida	Potencial de radiação ionizante	kBq Co-60-eq atmosférico
Formação do material particulado	PM 2.5 assimilação pela população	Potencial de formação de material particulado	kg PM2.5-eq atmosférico
Formação fotoquímica de oxidantes: ecossistemas terrestres	Aumento troposférico de ozono	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos: ecossistemas	kg NO _x -eq. to atmosférico
Formação de oxidantes fotoquímicos: saúde humana	Aumento da exposição da população a ozono troposférico	Potencial de formação de oxidantes fotoquímicos: humanos	kg NO _x -eq. Atmosférico
Acidificação terrestre	Aumento de protões em solos naturais	Potencial de acidificação terrestre	kg SO ₂ -eq. Atmosférico
Eutrofização água doce	Aumento de fósforo em água doce	Potencial de eutrofização de água doce	kg P-eq. água doce
Toxicidade humana: cancro	Aumento do risco de incidência de doenças cancerígenas	Potencial de toxicidade humana	kg 1,4-DCB-eq ar urbano
Toxicidade humana: não-cancro	Aumento do risco de incidências de doenças não-cancerígenas	Potencial de toxicidade humana	kg 1,4-DCB-eq ar urbano
Ecotoxicidade terrestre	Aumento de riscos em solos naturais	Potencial de ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB-eq para o solo industrial
Ecotoxicidade em água doce	Aumento de risco em águas doces	Potencial de ecotoxicidade em água doce	kg 1,4-DCB-eq água doce
Ecotoxicidade marinha	Aumento de risco na água do mar	Potencial de ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DCB-eq para a água salgada
Uso do solo	Alteração do uso do solo	Potencial de ocupação de terras agrícolas	m ² × ano solo agrícola-eq.
Uso da água	Aumento do consumo de água	Potencial de consumo de água	m ³ água-eq. consumida
Escassez de recursos minerais	Aumento da extração de minérios	Potencial de excedente minério	kg Cu-eq.
Escassez de recursos fósseis	Valor de aquecimento superior	Potencial de combustível fóssil	kg petróleo-eq.

Na Tabela 3 são identificadas as categorias de dano (“*endpoint*”) e como estas se relacionam com as categorias de impacto, pontos intermédios e as respetivas unidades. Para a saúde humana as unidades são o *Disability Adjusted Life Years* (DALY) – ano de vida ajustado por incapacitação, que representa o número de anos perdidos na vida de uma pessoa devido aos efeitos colaterais de um acidente ou doença; as unidades referentes aos impactos do consumo de água referem-se à desnutrição causada pela escassez de água nos países menos desenvolvidos. Para as categorias de dano nos ecossistemas a unidade refere-se à perda relativa de espécies, contemplando a vertente espaço-temporal, nos ecossistemas terrestres, água doce e marinha, nomeadamente, potencial de desaparecimento de espécies de uma área (m²) por ano ou potencial de

desaparecimento de espécies num volume (m³) por ano. Na categoria de dano sobre os recursos, minerais e fósseis, as unidades traduzem-se no potencial custo excedente, medido em dólares americanos para o período de 2013 (USD2013) [31].

Tabela 3 - Categorias de dano do método de avaliação de impacto de ciclo de vida ReCiPe 2016 [31].

Categorias de Impacte		Unidades das Categorias de Dano	
Saúde Humana	Aquecimento global	DALY/kg CO ₂ eq.	
	Depleção da camada de ozono	DALY/kg CFC ⁻¹¹ eq.	
	Radiação ionizante	DALY/kBq CO ⁻⁶⁰ eq. atmosférico	
	Formação de material particulado	DALY/kg PM _{2,5} eq.	
	Formação fotoquímica de ozono	DALY/kg NO _x eq.	
	Toxicidade humana: cancro	DALY/kg 1,4-DCB eq. ar urbano	
	Toxicidade humana: não cancro	DALY/kg 1,4-DCB eq. ar urbano	
	Consumo de água	DALY/m ³ consumo	
Ecossistemas Terrestres	Aquecimento global	Espécies.ano/kg CO ₂ eq.	
	Formação fotoquímica de ozono	Espécies.ano /kg NO _x eq.	
	Acidificação	Espécies.ano /kg SO ₂ eq.	
	Toxicidade	Espécies.ano /kg 1,4-DBC eq. Solo industrial	
	Consumo de água	Espécies.ano /m ³ consumo para água doce eq.	
Ecossistemas de Água doce	Uso do solo – ocupação	Espécies.ano / colheita anual eq.	
	Aquecimento global	Espécies.ano /kg CO ₂ eq.	
	Eutrofização	Espécies.ano /kg P para água doce eq.	
	Toxicidade	Espécies.ano /kg 1,4-DBC	
Ecossistemas Marinhos	Consumo de água	Espécies.ano /m ³ consumo	
	Toxicidade	Espécies.ano /kg 1,4-DBC água marinha eq.	
Recursos	Escassez de recursos minerais	USD2013/kg Cu	
		Petróleo bruto	USD2013/kg
		Antracite	USD2013/kg
		Gás natural	USD2013/Nm ³
		Lenhite	USD2013/kg
		Trufa	USD2013/kg

As perspetivas culturais pretendem traduzir escolhas relativas às escalas temporais dos danos efetuados sobre o meio ambiente e às expectativas relacionadas de como o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias podem contribuir para evitar futuros danos no ambiente. A perspetiva cultural hierárquica é considerada como o modelo base pela comunidade científica. Na Tabela 4 exemplifica-se a escolha de valores desta perspetiva, por comparação às demais, associada à modelação de gases com efeito de estufa (GEE) [31].

Tabela 4 - Escolha de valores na modelação ambiental de ciclo de vida da emissão e gases com efeito de estufa [31].

Aspeto modelado	Individualista	Hierárquica	Igualitária
Escala temporal (anos)	20	100	1000
Relação clima-carbono incluindo para CO ₂ - sem potencial GEE	Não	Sim	Não ¹
Desenvolvimentos socioeconómicos futuros	Otimista	Padrão	Pessimista
Potencial de adaptação	Adaptativo	Regulador/fiscalizador	Compreensivo

¹Idealmente, a dicotomia clima-carbono deve ser considerada nesta perspetiva, contudo os PAGs não estão disponíveis para a escala temporal desta perspetiva.

O método CML 2001 é um método do tipo midpoint que quantifica 14 indicadores e cerca de 25 categorias de impacto divididas em três grupos: A, B e C. O grupo A está presente em quase todos os estudos de ACV e compreende as categorias de impacto para um método de caracterização base. Esta caracterização base compreende, por exemplo, categorias como o esgotamento de recursos abióticos, as alterações climáticas e a destruição da camada de ozono estratosférica. O grupo B inclui categorias de impacto adicionais que podem merecer a sua inclusão, mediante o âmbito e objetivo da ACV e a disponibilidade de dados apropriados. Entre essas categorias encontram-se os impactos da radiação ionizante, o ar fétido e a ecotoxicidade dos sedimentos em água doce e salgada, por exemplo. As categorias de impacto do grupo C são categorias em que não é proposto nenhum método de caracterização para este modelo, 16 mas que podem ser incluídas mediante a existência de métodos alternativos. Entre estas categorias encontram-se, por exemplo, o esgotamento de recursos bióticos e a água fétida [32].

3.1.4 Interpretação do Ciclo de Vida

Na última fase da ACV, também designada por Interpretação do Ciclo de Vida, compreende a identificação dos aspetos significativos com base nos resultados obtidos.

Os resultados das fases de ICV e AICV devem ser interpretados de acordo com o objetivo e âmbito de estudo, pelo que a interpretação deve incluir uma avaliação que considere controlos de integralidade, sensibilidade e coerência das entradas, saídas e escolhas metodológicas significativas de forma a inferir a incerteza dos resultados [26].

A fase de interpretação ocorre paralelamente às outras fases (Figura 4), em que os resultados obtidos, em cada fase, são analisados em termos de precisão e consistência perante as hipóteses delineadas [33]. A interpretação considera dois aspetos principais:

- Processo continuado, que interfere com as outras fases do estudo;
- Potenciar a elaboração de conclusões e recomendações robustas.

De forma a melhorar a interpretação dos resultados obtidos pode-se, nesta fase, determinar a incerteza destes e efetuar uma análise de sensibilidade.

O *output* da interpretação pode ser uma conclusão que serve como recomendação a entidades reguladoras, que vão considerar os impactes ambientais e recursos juntamente com outros critérios (como aspetos económicos e sociais).

3.1.5 Limitações

Para a construção dos cenários dos sistemas em estudo são elaboradas hipóteses, que tendem a simplificar a complexidade na modelação dos cenários, mas em contrapartida acarretam limitações para a extrapolação dos resultados obtidos. Para obtenção de conclusões sólidas, os pontos críticos dos processos devem ser caracterizados de forma conclusiva.

3.2. *Material Flow Cost Accounting*

De modo a considerar o estudo da caracterização do desempenho económico dos novos aditivos naturais e os seus sistemas produtivos, numa fase preliminar do seu desenvolvimento, em que os dados primários existentes são com base no seu desenvolvimento laboratorial, optou-se por seguir a metodologia do *Material Flow Cost Accounting* (MFCA).

A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a escassez de material desde os anos 80 vem alertando as empresas para a realização das suas atividades com o menor impacto ambiental possível [34].

No entanto, as organizações precisam de manter-se competitivas num mercado mundial, o que requer altos níveis de produtividade [35]. Assim, a indústria está a enfrentar o desafio de integrar metas ecológicas com objetivos económicos [36]. Para tal, o *Material Flow Cost Accounting* (MFCA) tem sido sugerido por vários autores como uma ferramenta que pode apoiar as empresas na tomada de decisões para melhorias económicas e ambientais [37].

O primeiro e principal conceito de MFCA é o balanço de massa baseado nas leis da termodinâmica que pressupõe que o material ou a energia em qualquer sistema não podem ser criados ou destruídos, apenas podem ser transformados.

O MFCA é considerado como uma das mais poderosas ferramentas da contabilidade e gestão ambiental. É também uma abordagem eficaz para satisfazer a necessidade de aumentar a produtividade e reduzir simultaneamente os custos dos impactes ambientais da produção, uma vez que permite identificar de forma transparente o uso de materiais e recursos [38] ao longo da cadeia de produção.

Esta metodologia é normalizada [38] e caracteriza-se por ser um método contabilístico orientado para o fluxo que traça e quantifica, em unidades físicas e monetárias, todos os fluxos materiais e energéticos. Além disso, compara os custos associados aos produtos e às perdas materiais [37]. A aplicabilidade deste método é independente do tipo de sistema ou organização de produção. Permite o reconhecimento das fontes de resíduos primários, simplificando a identificação dos problemas e, portanto, a solução.

A análise do MFCA divide o processo em centros de quantidade [38]. Os centros de quantidade são partes selecionadas de um processo onde as entradas e saídas são quantificadas, primeiro em unidades físicas e, em seguida, em unidades monetárias. Os fluxos dos materiais e o uso de energia em todos os centros de quantidade devem ser descritos por um modelo de fluxo. A Figura 7 mostra um exemplo simplificado de um modelo de fluxo considerando apenas os movimentos de materiais [39].

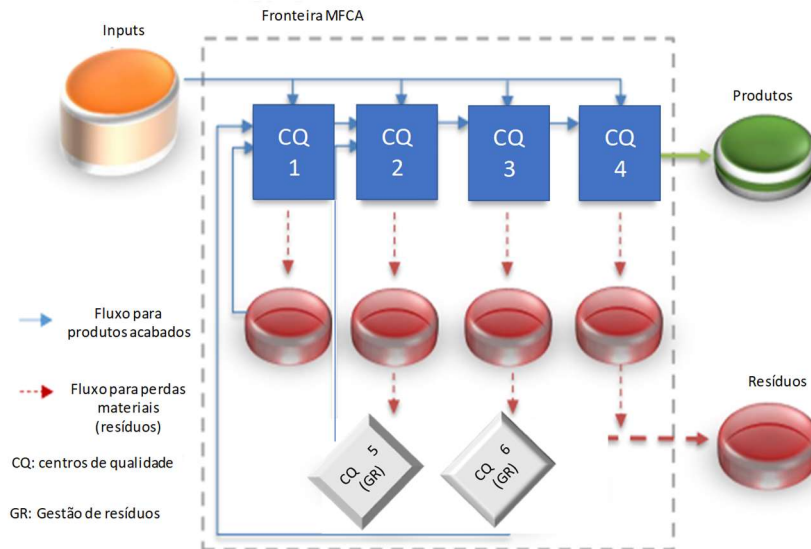


Figura 7 - Material Flow Cost Accounting (Adaptado de [39]).

O modelo de fluxo deve ilustrar o movimento global de materiais e energia dentro do limite escolhido para a análise, bem como fornecer uma visão geral de todo o processo, identificando os pontos potenciais onde podem ocorrer perdas [39]. Além disso, deve evidenciar o efeito financeiro das perdas, o que posteriormente permitirá aos gestores e engenheiros concentrarem-se nos pontos mais críticos e desenvolver melhorias técnicas e organizacionais [36] que mitiguem estes riscos.

Com base nas leis de conservação de massa e energia e para assegurar que todos os fluxos de materiais sejam contabilizados, deve ser realizado um balanço de massa (Equação 6) para o sistema e individualmente para cada centro de quantidade, considerando as entradas, saídas e mudanças no stock de materiais [38].

$$Input_{material} = Output_{material} + Output_{resíduos\ materiais} + \Delta Inventário \quad (6)$$

Havendo dificuldade na contabilização de alguns materiais ao longo da produção, esta análise irá incorporar alguma imprecisão e incerteza. Caso haja irregularidades inexplicadas, estas devem ser analisadas e investigadas mais detalhadamente para avaliar o seu impacto.

Como pode ser observado na Equação 6, o MFC considera a produção de bens como um sistema de fluxos que pode ser dividido em [36]:

- Fluxos desejados de materiais (produtos);
- Fluxos indesejados de material: movimento de saídas não intencionais de material ou perdas de material (desperdício e resíduos).

O MFC considera como fluxos indesejados:

- Perda de material durante o processamento e produtos defeituosos;
- Materiais que permanecem no equipamento após a instalação;
- Materiais auxiliares como solventes, lubrificantes, detergentes, etc.;
- Matérias-primas, trabalhos em processo e produtos em stock rejeitados devido a deterioração ou outros motivos.

Nas indústrias transformadoras, todas as etapas do processo de fabricação podem ser fontes de resíduos e perdas. A subsequente diminuição dos resultados indesejados implica uma redução da procura de materiais de entrada, conduz a efeitos económicos e ecológicos positivos, aumenta a produtividade e reforça a capacidade competitiva do desenvolvimento do produto [36].

Em conclusão, o MFCA traça e avalia os fluxos de materiais com o objetivo de aumentar a produtividade dos recursos e resolver os problemas de desperdício. Consequentemente, leva à redução da procura de recursos, reduzindo simultaneamente o impacte ambiental e os custos [40].

A implementação do MFCA pode ser entendida como um procedimento de vários passos desde a sua introdução até à sua aplicação para avaliar um sistema produtivo. No entanto, pode fornecer informações significativas nas várias fases do ciclo de melhoria contínua: *Plan-Do-Check-Act* (PDCA). O conhecimento dos potenciais impactes ambientais e financeiros obtidos a partir da análise do MFCA pode melhorar consideravelmente a avaliação do PDCA. Assim, os benefícios da implementação do MFCA serão melhorados se for construído de acordo com o ciclo PDCA e tornar-se uma ferramenta de melhoria contínua dentro do sistema contabilístico [39]. A Figura 8 propõe um esquema das etapas de implementação do MFCA com um ciclo PDCA.

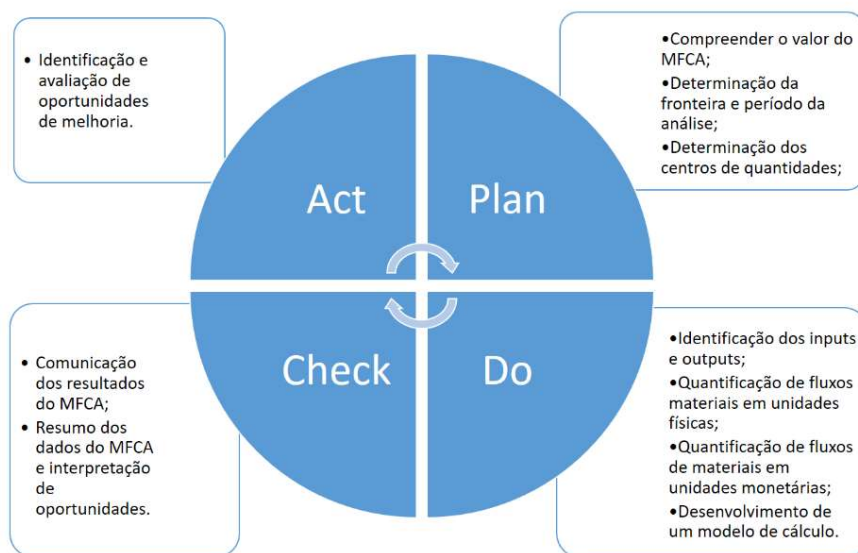


Figura 8 - Etapas de implementação do MFCA (adaptado de ISO 14051:2011).

Na fase *Plan*, primeiramente, deve ser compreendida a praticabilidade, as vantagens e o valor do MFCA. A fase *Do* é a identificação das entradas e das saídas para cada centro de quantidade. Normalmente as entradas são materiais e energia, e as saídas são

produtos e perdas mássicas e energéticas. Uma vez identificadas todas as entradas e saídas, estas devem ser quantificadas em unidades físicas. Para calcular os balanços de materiais, todas as unidades físicas devem ser convertíveis numa única unidade padronizada.

Após a recolha e validação dos dados de fluxo material, estes devem ser traduzidos em unidades monetárias para apoiar a tomada de decisões. Os fluxos desejados e indesejados não carregam apenas o custo do material. Uma vez que cada processo requer a entrada de mão-de-obra, depreciação, energia, transporte, entre outros custos associados, o MFCA adiciona todas as informações de custos aos dados de quantidade com base nos fluxos de materiais. Assim, a perda económica pode ser analisada não apenas em relação ao material, mas também incluindo todos os custos de fabrico. A Tabela 5 apresenta os vários tipos de custos da metodologia MFCA [38].

Tabela 5 - Material Flow Cost Accounting: Tipos de Custos.

Tipos de Custos	
Sistema	Custos associados a todas as despesas que ocorrem no manuseio interno dos fluxos de material, exceto custos de material, energia e custos de gestão de resíduos como trabalhos, transporte e depreciação [35].
Material	Custos dos principais materiais e materiais auxiliares. Os custos de material para cada fluxo de entrada e saída são quantificados pela multiplicação do montante físico pelo custo unitário do material ao longo do período escolhido para a análise [35]. O uso de custos de entrada fixos permite uma avaliação consistente para todas as etapas [38].
Energia	Custos relacionados com a energia consumida em cada centro de quantidade [35].
Gestão de Resíduos	Custos associados ao manuseio de perdas de material. Estes custos devem ser inteiramente atribuídos às perdas materiais [35].

No caso em que os vários tipos de custo sejam difíceis de atribuir aos seus respetivos centros de quantidade, deve ser selecionado um critério de alocação, de forma a facilitar a integração dos custos.

A avaliação do desempenho ambiental de uma empresa baseia-se, frequentemente, nos recursos consumidos nas unidades físicas. Em oposição, a avaliação financeira utiliza unidades monetárias. Para basear a tomada de decisão em informações financeiras e ambientais ao mesmo tempo, o modelo de cálculo deve integrar os dados materiais e energéticos recolhidos nas unidades físicas com os seus custos associados [38]. O modelo de cálculo deve ser desenvolvido pela empresa com base nos requisitos, fundamentos e princípios da metodologia do MFCA, embora a norma ISO 14051 forneça uma orientação para o cálculo de custos. O modelo de cálculo pode seguir três passos [38]:

1. Cálculo de custos de material;
2. Cálculo e alocação de custos de energia, sistema e gestão de resíduos;
3. Apresentação e análise integrada de dados de custos.

A revisão e interpretação dos resultados obtidos após a análise do MFCA permitirá a identificação dos centros de quantidade com as perdas materiais mais relevantes. Além disso, podem ser analisados individualmente com mais detalhe para identificar as causas profundas das ineficiências e os fatores que originam os custos. As informações gerais fornecidas pelo MFCA podem apoiar um amplo leque de decisões que visam a melhoria do desempenho tanto ambiental como financeiro [38]. Finalmente, para compreender melhor a magnitude e as consequências, os dados devem ser revistos para estudar as potenciais oportunidades de melhorar o desempenho ambiental e económico.

CASO DE ESTUDO

- 4.1 OBJETIVO E ÂMBITO
- 4.2 UNIDADE FUNCIONAL
- 4.3 FRONTEIRAS DO SISTEMA
- 4.4 INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA
- 4.5 BIOATIVOS NATURAIS
- 4.6 CORANTES NATURAIS

4 CASO DE ESTUDO

Neste capítulo serão apresentados os detalhes do caso de estudo, objetivos e âmbito da ACV. Os aditivos alimentares de origem natural, foram selecionados pelos respetivos parceiros de acordo com o *Technology Readiness Level* (TRL), ou seja, foram selecionados de acordo com a sua evolução tecnológica (Figura 9). De salientar, que como o projeto ainda está numa fase experimental, estes aditivos selecionados encontram-se num nível de 2-3 de acordo com o TRL.

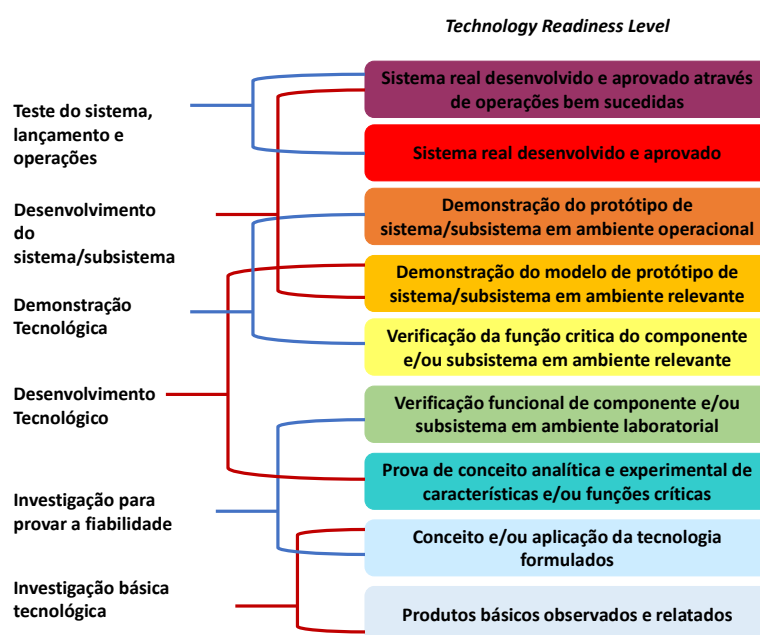


Figura 9 - *Technology Readiness Level* [41].

4.1 Objetivo e Âmbito

O presente estudo incide na análise da caracterização ambiental e económica dos novos aditivos alimentares de origem natural no âmbito do projeto mobilizador Valor Natural. Tendo o propósito de selecionar apenas os aditivos com maior potencial e estado de desenvolvimento mais avançado, foi recolhida informação junto dos parceiros para a identificação e caracterização dos sistemas em estudo mediante a entrega de um questionário (Anexos). Obtiveram-se dados relativamente aos aditivos alimentares ambos à escala laboratorial.

4.2 Unidade Funcional

A unidade funcional, que permite a comparação equitativa do desempenho ambiental e económico entre os vários cenários de estudo, será a quantidade mássica necessária para o aditivo atingir a sua funcionalidade alimentar. Inicialmente iria tomar-se como unidade funcional a quantidade necessária para se obter a mesma funcionalidade que se obteria com o aditivo sintético que se visa substituir, uma vez que a correspondência de substituição mássica poderá não ser a mesma. No entanto, essa quantidade não foi claramente identificável, pelo que a unidade funcional foi definida como 1g de substrato de origem vegetal convertido em aditivo alimentar.

4.3 Fronteiras do Sistema

A avaliação da performance ambiental e económica preconiza uma abordagem *gate-to-gate*, que considera a inclusão dos impactes ocorridos desde que a matéria-prima (substrato de origem vegetal) é rececionada incluindo o seu processamento até à produção do aditivo alimentar (Figura 10). Excluem-se da análise as etapas associadas à produção agrícola ou obtenção dos resíduos de origem vegetal e as associadas à incorporação dos aditivos nos produtos alimentares, uma vez que ambas abarcam grande incerteza nesta fase do projeto. Adicionalmente o principal interesse do estudo ACV e de MFCA é o de avaliar e o de otimizar as tecnologias de processamento, extração e estabilização dos aditivos alimentares em estudo no projeto, informando sobre alternativas de menor impacte ambiental e económico.

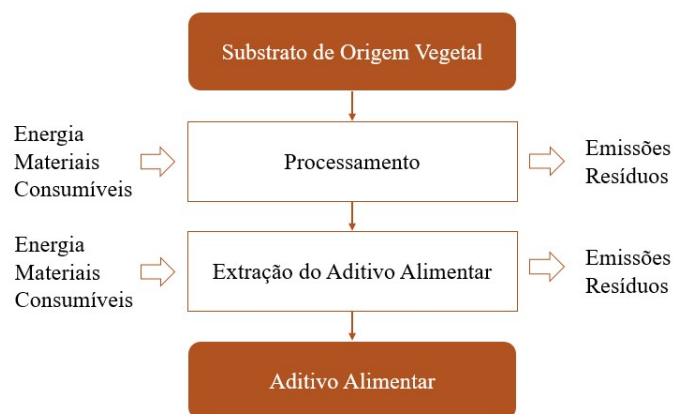


Figura 10 - Fases do ciclo de vida da produção dos aditivos naturais considerados na análise do desempenho ambiental.

4.4 Inventário do Ciclo de Vida

Nos subcapítulos seguintes descrevem-se as etapas associadas à obtenção de cada aditivo alimentar, as quais serão consideradas na análise ambiental e económica. Estes aditivos estão identificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Identificação dos aditivos alimentares de origem natural em estudo.

Classe do Aditivo Alimentar	Identificação do Aditivo Alimentar
Bioativos Naturais	Ergosterol
	Vitamina D2
Corantes Naturais	Extratos corante à base de Hibiscus sabdariffa L.
	Extratos corante à base de Sambucus nigra L.
	Extratos corante à base de Gomphrena globosa L.

Assim, apresentam-se de seguida os fluxos de entrada e saída de material e energia, bem como todos os processos que decorrem na fase de produção dos aditivos alimentares. Os dados apresentados foram obtidos e calculados através de informação fornecida pelos parceiros do projeto. Dentro desta análise apresentam-se os dados referentes a:

- Transporte da matéria-prima dos fornecedores até ao laboratório;
- Produção dos aditivos alimentares.

Para o transporte da matéria-prima considerou-se o transporte rodoviário feito através de um camião com refrigeração com carga máxima de 10 t. Na Tabela 7 apresenta-se o inventário de matéria-prima necessário à produção dos extratos, bem como a distância percorrida pela mesma desde os locais de produção até ao laboratório. A fim de quantificar os impactes de cada processo na produção dos aditivos, foi utilizada a base de dados *Ecoinvent v3.5*, que está disponível no programa *SimaPro v9.1.0.7*.

Tabela 7 - Inventário do transporte da matéria-prima.

Matéria-prima	Peso (kg)	Percurso	Distância (km)
Cálices de <i>Hibiscus sabdariffa</i>	2	Pragmático Aroma Lda., Alfândega da Fé ↓ Centro de Investigação de Montanha, Bragança Bragança, Portugal	4,1
Resíduos de frutos de <i>Sambucus nigra</i>	2	↓ Centro de Investigação de Montanha, Bragança Ervital, Castro Daire	2,8
Inflorescências <i>Gomphrena globosa</i>	2	↓ Centro de Investigação de Montanha, Bragança Mogaricus Lda.	186
Biorresíduos de cogumelos	50	↓ Centro de Investigação de Montanha, Bragança	86,5

De modo a compreender quais as categorias de impacte mais relevantes para a análise da produção dos extratos descritos, recorreu-se aos estudos já referidos.

Tendo em conta os estudos analisados no Capítulo 2, foram selecionados os métodos de cálculo de impactes ambientais que irão ser utilizados para quantificar os impactes ambientais do ciclo de vida dos aditivos produzidos.

- *ReCiPe* (indicador *Midpoint* (na perspetiva H (Hierárquico) – Global (H) v1.04) com as seguintes categorias de impacte ambiental:
 - Alterações climáticas;
 - Depleção da camada de ozono;
 - Acidificação;
 - Eutrofização da água doce;
 - Eutrofização marinha;
 - Emissão de partículas;
 - Consumo de água.
- *CML-IA baseline* (v3.06), completando assim a lista de categorias escolhidas:
 - Oxidação Fotoquímica.

De modo a quantificar os impactes ambientais relativos aos consumos de energia elétrica, considerou-se o *mix* energético de Portugal no ano de 2020. O processo para o consumo de eletricidade em Portugal que está disponível na base de dados *Ecoinvent* v3.5 fornece o *mix* energético em Portugal a partir de 2016. Desde então, o *mix* energético português modificou significativamente com a transição para a utilização de energias mais renováveis na rede. Utilizando a informação disponível na Associação Portuguesa de Energias Renováveis (APREN) [42], o processo foi adaptado para a linha temporal entre Agosto de 2019 e Agosto de 2020. As estimativas de autoconsumo foram baseadas no *mix* de produção de energia a partir do ano 2018, utilizando a informação fornecida pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) [43].

O programa selecionado para a quantificação dos impactes ambientais associados ao ciclo de vida dos extratos indicados foi o *SimaPro* v9.1.0.7, utilizando como base de dados a *Ecoinvent* v3.5. Na Tabela 8 apresenta-se uma breve descrição das várias categorias de impacte selecionadas.

Tabela 8 - Métodos de cálculo selecionados e descrição das respetivas categorias de impacto.

Método	Categoria	Descrição
ReCiPe 2016 [44]	Alterações Climáticas (kg CO ₂ eq)	Quantidade de gases emissores de efeito de estufa devido a alterações na capacidade da atmosfera, provocando assim efeitos negativos na terra. A consequência direta é a subida de temperatura e estragos nos ecossistemas e saúde humana.
	Depleção da camada de ozono (kg CFC ¹¹ eq)	Destruição da camada de ozono devido a emissões antropogénicas de substâncias que a danificam. Acabam por causar danos na saúde humana devido ao aumento da radiação ultravioleta (UV)
	Acidificação (kg SO ₂ eq)	Deposição de substâncias inorgânicas no solo causa uma alteração na acidez do solo, o que se torna prejudicial para a flora.
	Eutrofização da água doce (kg P eq)	Ocorre devido à descarga de nutrientes devido a atividades antropogénicas. Na água doce, considera-se o fósforo (P) como o nutriente que controla o crescimento dos produtores primários.
	Eutrofização marinha (kg N eq)	O aumento das práticas antropogénicas provoca um aumento do crescimento de algas, o que leva a efeitos negativos para o ambiente aquático. No caso da eutrofização marinha considera-se o azoto (N) como nutriente.
	Emissão de partículas (kg PM _{2.5} eq)	Emissão de partículas para a atmosfera com um diâmetro inferior a 2,5 µm. Estas partículas representam uma mistura complexa de substâncias orgânicas e inorgânicas. Quando inaladas, estas partículas provocam danos ao nível do aparelho respiratório.
CML 2001 [45]	Consumo de água (m ³)	Utilização da água, de tal forma, que a água é evaporada, incorporada em produtos, transferida para outras bacias hidrográficas ou eliminada no mar. A água que foi consumida não está disponível para utilização humana ou para os ecossistemas.
	Oxidação Fotoquímica (kg C ₂ H ₄ eq)	Também conhecido por <i>SMOG</i> . Criação de fotoquímica de substâncias reativas (principalmente ozono), que afetam a saúde humana e os ecossistemas. Este ozono ao nível do solo é formado na atmosfera por óxidos de azoto e compostos orgânicos voláteis.

4.5 Bioativos Naturais

Nos bioativos naturais foram selecionados dois aditivos:

- a) O extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente ergosteróis;
- b) O extrato enriquecido em vitamina D₂;

O objetivo do ergosterol é o de atuar como agente hipocolesterolémico, podendo ser incorporado em alimentos de natureza lipofílica, como o queijo. Pode também ser incorporado em matrizes hidrofílicas após estabilização por técnicas de encapsulação. A vitamina D₂, que consiste na conversão do ergosterol em ergocalciferol (vitamina D₂) através da luz ultravioleta, pode ser extraída e incorporada em farinha para produtos de panificação e pastelaria.

As etapas consideradas dentro do âmbito do estudo são as indicadas na Figura 11 para o extrato enriquecido em micosteróis e na Figura 12 para o extrato enriquecido em vitamina D2. Exclui-se do âmbito da análise os impactos ambientais associados à produção do resíduo de cogumelos, uma vez que este não possui valor económico e não é atualmente considerado um coproduto, devido ao estágio inicial de desenvolvimento dos processos de valorização.

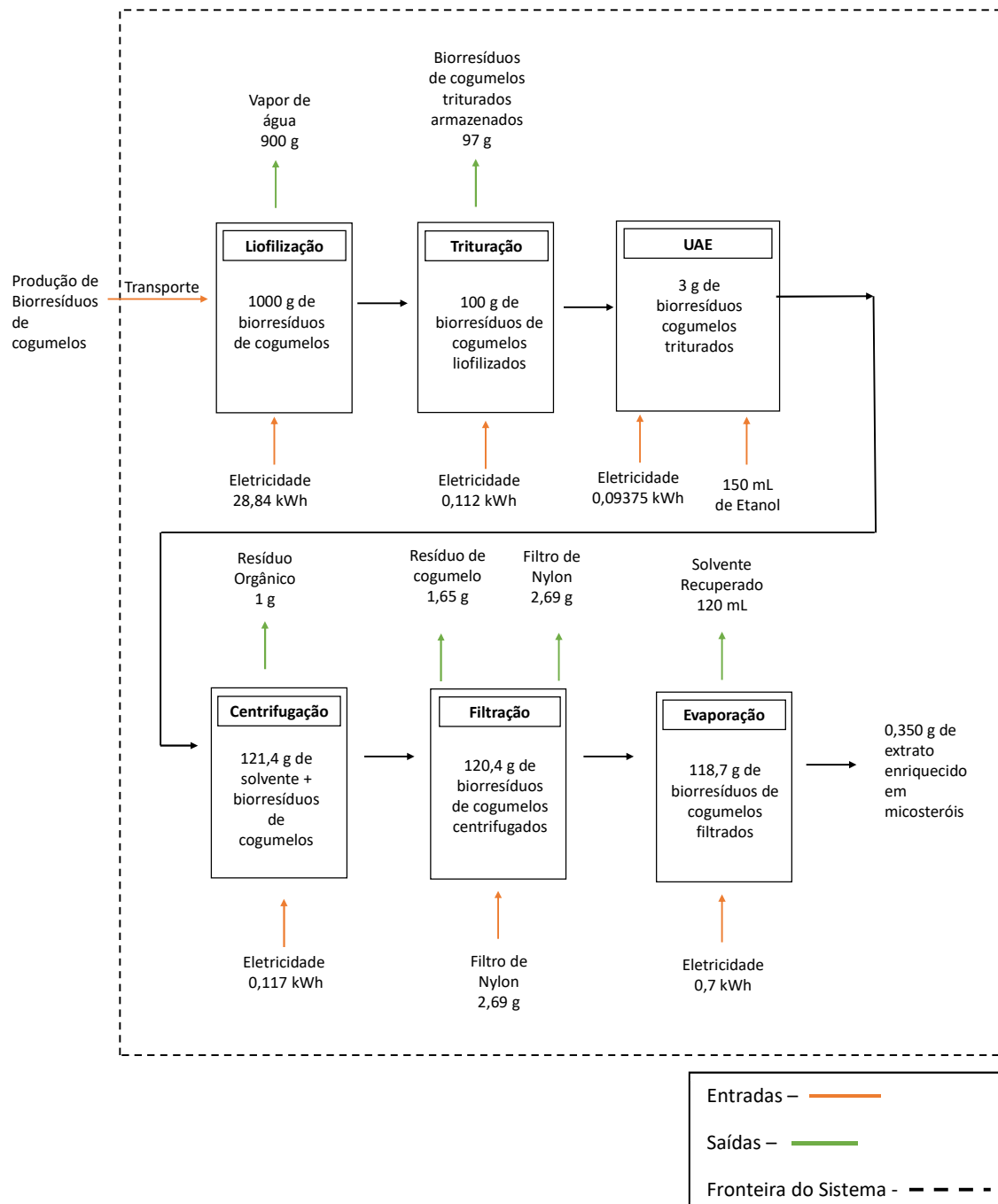


Figura 11 – Inventário do ciclo de vida do extrato enriquecido em micosteróis.

Para a produção do extrato enriquecido em micosteróis, são utilizados como matéria-prima biorresíduos da indústria produtora de cogumelos. Esta produção inicia-se com a liofilização de biorresíduos, sendo que uma parte evapora na forma de água. Na técnica de trituração, biorresíduos de cogumelos liofilizados são triturados, no entanto, uma parcela é armazenada (não têm qualquer utilidade para a continuação do processo) e o restante passa para a fase seguinte. De seguida, no equipamento de extração assistida por ultrassons (UAE) entra a matéria-prima triturada e etanol, da qual são extraídos biorresíduos de cogumelos misturados com o solvente. Na fase de centrifugação, a matéria-prima que resulta da etapa de extração entra na centrifugadora. Posteriormente, na filtração (por gravidade) entram biorresíduos de cogumelos centrifugados e é utilizado um filtro de nylon para proceder à filtração. Neste procedimento, são gerados resíduos de cogumelos que juntamente com o filtro de nylon, são tratados como resíduos orgânicos. Por fim, para obter o produto final, entram biorresíduos de cogumelos filtrados no evaporador e o solvente é evaporado até se obter extrato seco. Na Tabela 9 estão apresentados os fluxos de matéria-prima relativos a este processo.

Tabela 9 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato enriquecido em micosteróis.

Processo	Matéria-prima	Quantidade
Liofilização	Input	
	Biorresíduos de cogumelos	1000g
	Liofilizador	28,84 kWh
	Output	
	Vapor de água	900g
	Biorresíduos de cogumelos liofilizados	100g
Trituração	Input	
	Biorresíduos de cogumelos liofilizados	100g
	Triturador	0,112 kWh
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos triturados	100g
UAE	Input	
	Biorresíduos de cogumelos triturados	3g
	Extrator	0,09375 kWh
	Etanol	150 mL
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos + solvente	121,4g
Centrifugação	Input	
	Biorresíduos de cogumelos + solvente	121,4g
	Centrifugadora	0,117 kWh
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos centrifugados	120,4g
	Resíduo Orgânico	1g
Filtração	Input	
	Biorresíduos de cogumelos centrifugados	120,4g
	Filtros de nylon	2,69g
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos filtrados	118,7g
	Resíduo de cogumelo	1,65g
	Filtro de nylon	2,69g
Evaporação	Input	
	Biorresíduos de cogumelos filtrados	118,7g
	Evaporador	0,7 kWh
	Output	
	Solvente recuperado	120 mL
	Extrato enriquecido em micosteróis	0,350g

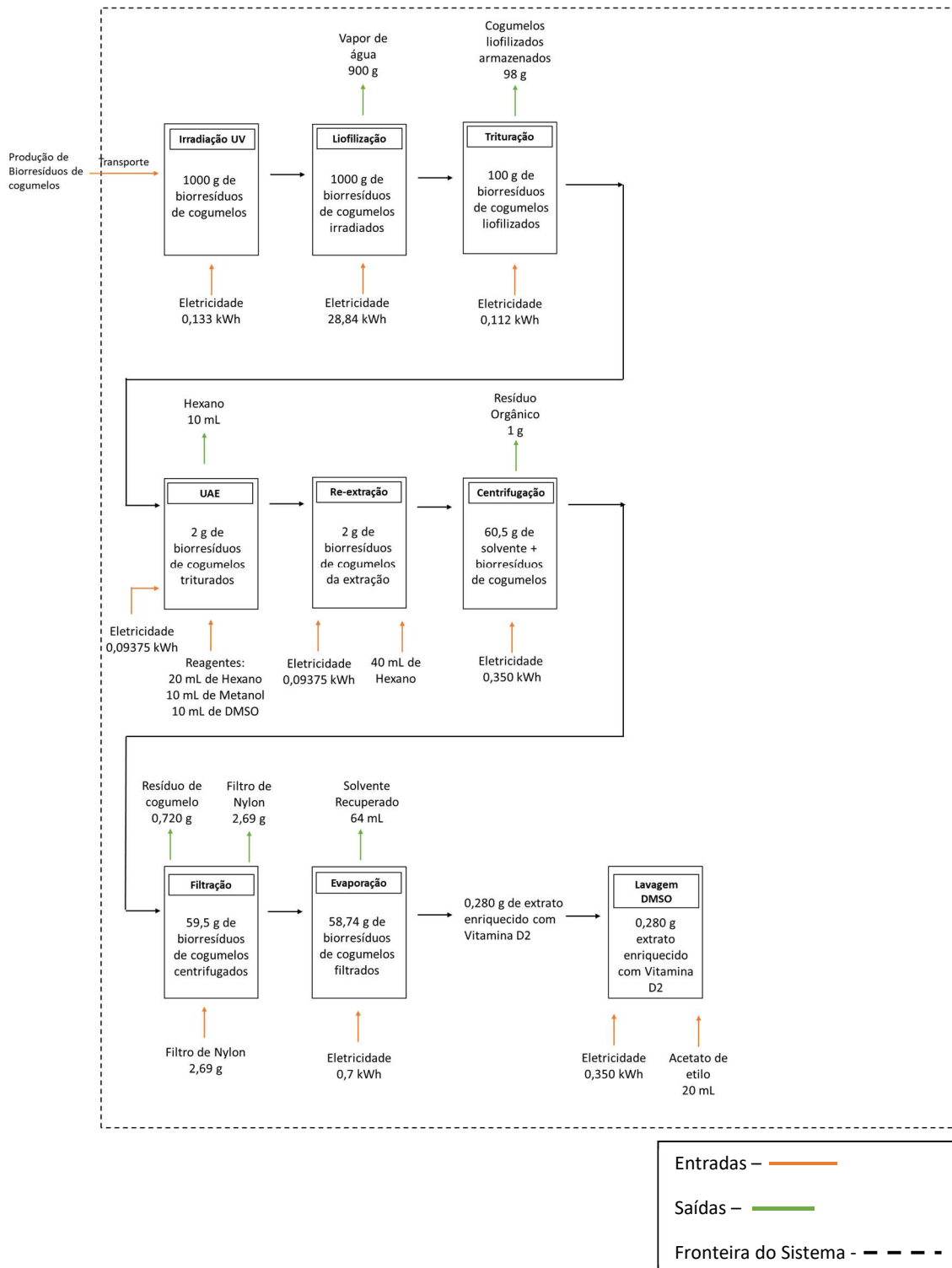


Figura 12 – Inventário do ciclo de vida do extrato enriquecido em Vitamina D2.

Para produzir extrato enriquecido em vitamina D2, recorreu-se a biorresíduos da indústria produtora de cogumelos. Para a conversão do ergosterol em Vitamina D2 (intensidade de exposição e tempo otimizado), recorreu-se à técnica de irradiação ultravioleta, da qual se obteve o ingrediente bioativo rico em vitamina D2. Após a irradiação, biorresíduos de cogumelos irradiados são liofilizados, sendo que uma parte

evapora na forma de água. Na fase de trituração, os biorresíduos de cogumelos liofilizados são macerados, sendo uma parcela armazenada, pois não será necessária para a continuação do processo, e o restante passa à fase seguinte. De seguida, biorresíduos triturados entram no extrator e procede-se à extração assistida por ultrassons com Hexano, Metanol e Dimetilsulfóxido (DMSO), sendo que uma quantidade de Hexano é evaporada. Posteriormente, a mesma quantidade de biorresíduos, é novamente submetida ao processo de extração com Hexano. Na fase de centrifugação, a matéria-prima que resulta da etapa de extração entra na centrifugadora. Após a centrifugação, ocorre o processo de filtração (por gravidade), onde é utilizado um filtro de nylon. No final do processo, os consequentes resíduos de cogumelo e o filtro de nylon são tratados como resíduos orgânicos. Na fase de evaporação, os biorresíduos de cogumelos entram no evaporador e o solvente é evaporado até se obter extrato seco. Por fim, o extrato enriquecido em vitamina D2, entra no evaporador de DMSO com o objetivo de retirar o DMSO do extrato. Na Tabela 10 estão apresentados os fluxos de matéria-prima relativamente a este processo.

Tabela 10 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato enriquecido em vitamina D2.

Processo	Matéria-prima	Quantidade
Irradiação UV	Input	
	Biorresíduos de cogumelos	1000g
	Câmara de irradiação	0,133 kWh
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos irradiados	1000g
Liofilização	Input	
	Biorresíduos de cogumelos	1000g
	Liofilizador	28,84 kWh
	Output	
	Vapor de água	900g
	Biorresíduos de cogumelos liofilizados	100g
Trituração	Input	
	Biorresíduos de cogumelos liofilizados	100g
	Triturador	0,112 kWh
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos triturados	100g
UAE	Input	
	Biorresíduos de cogumelos triturados	2g
	Extrator	0,09375 kWh
	Hexano	20 mL
	Metanol	10 MI
	DMSO	10 mL
Output		
	Hexano	10 mL
	Biorresíduos de cogumelos extraídos	2g
Re-extração	Input	
	Biorresíduos de cogumelos extraídos	2g
	Extrator	0,09375 kWh
	Hexano	40 mL
Output		
	Biorresíduos de cogumelos + solvente	60,5g
Centrifugação	Input	
	Biorresíduos de cogumelos + solvente	60,5g
	Centrifugadora	0,350 kWh
	Output	
	Biorresíduos de cogumelos centrifugados	59,5g
	Resíduo orgânico	1g

Processo	Matéria-prima	Quantidade
Filtração	<i>Input</i>	
	Biorresíduos de cogumelos centrifugados	59,5g
	Filtros de nylon	2,69g
	<i>Output</i>	
	Biorresíduos de cogumelos filtrados	58,74g
Evaporação	Resíduo de cogumelo	0,720g
	Filtro de nylon	2,69g
	<i>Input</i>	
	Biorresíduos de cogumelos filtrados	58,74g
	Evaporador	0,7 kWh
Lavagem do DMSO	<i>Output</i>	
	Solvente recuperado	64 mL
	Extrato enriquecido em vitamina D2	0,280g
	<i>Input</i>	
	Extrato enriquecido em vitamina D2	0,280g
Lavagem do DMSO	Acetato de Etilo	20 mL
	Evaporador DMSO	0,350 kWh
	<i>Output</i>	
	DMSO	10 mL

4.6 Corantes Naturais

Foram identificados três extratos corantes naturais com maior poder potencial de aplicação e passíveis de serem incorporados em matrizes alimentares, sendo eles:

- Extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L.;
- Extrato corante à base de *Sambucus nigra* L.;
- Extrato corante à base de *Gomphrena globosa* L.

A informação relativa à produção de cada extrato não foi fornecida atempadamente para análise e realização dos objetivos desta dissertação, pelo que não será possível efetuar a avaliação do ciclo de vida dos mesmos.

Para produzir extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L., são utilizados cálices da planta *H. sabdariffa* como matéria-prima. Inicialmente as amostras são congeladas. De seguida, estas amostras congeladas são submetidas à liofilização, da qual uma parte sai em forma de vapor de água. Após este processo, as amostras são trituradas sendo reduzidas a pó. Posteriormente, a fração corante é extraída através de maceração, utilizando como solvente uma mistura etanol/água. Seguidamente, na filtração (por gravidade) entra a massa resultante do processo de extração, sendo que para proceder à filtração é utilizado um filtro de nylon. No final deste procedimento sai uma parte de resíduo da flor e o filtro de nylon é tratado como um resíduo orgânico. Na fase de evaporação, a fração etanólica é evaporada a fração aquosa é imediatamente congelada e, posteriormente, é feita a sua secagem pela técnica de *Spray-drying* usando maltodextrina como material adjuvante. Na Figura 13 apresenta-se um fluxograma contendo os fluxos de entrada e saída do ciclo de vida do extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L., rico em delphinidina-3-O-sambubiósido. Na Tabela 11 estão apresentados os fluxos de matéria-prima relativamente a este processo.

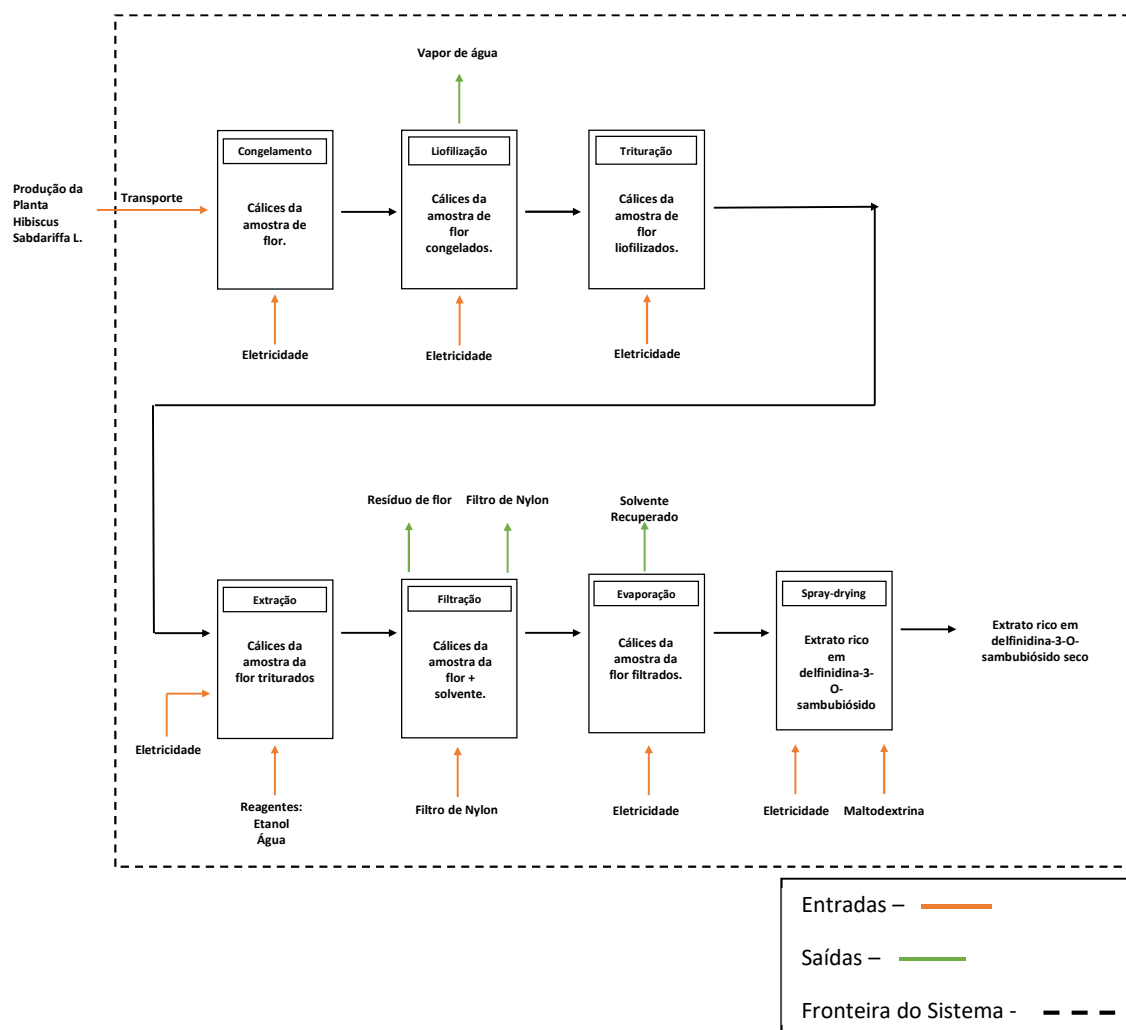


Figura 13 – Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L., rico em delphinidina-3-O-sambubiósido.

Tabela 11 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L., rico em delphinidina-3-O-sambubiósido.

Processo	Matéria-prima
Congelamento	<i>Input</i> Amostra de cálices da flor Congelador
	<i>Output</i> Amostra de cálices da flor congelada
Liofilização	<i>Input</i> Amostra de cálices da flor congelada Liofilizador
	<i>Output</i> Vapor de água Amostra de cálices da flor liofilizada
Trituração	<i>Input</i> Amostra de cálices da flor liofilizada Triturador
	<i>Output</i> Amostra de cálices da flor triturada

Processo	Matéria-prima
Extração	Input Amostra de cálices da flor triturada Etanol Água Extrator
	Output Amostra de cálices da flor + solvente
Filtração	Input Amostra de cálices da flor + solvente Filtro de nylon
	Output Amostra de cálices da flor filtrada Resíduos de flor Filtro de nylon
Evaporação	Input Amostra de cálices da flor filtrada Extrator
	Output Extrato rico em delfinidina-3-O-sambubiósido seco
Spray-drying	Input Extrato rico em delfinidina-3-O-sambubiósido Spray-dryer Maltodextrina
	Output Extrato rico em delfinidina-3-O-sambubiósido seco

Para produzir extrato corante à base de *Sambucus nigra* L., são utilizados resíduos de frutos de *S. nigra* como matéria-prima. O processo de produção inicia-se com a congelação das amostras. Após este processo, as amostras congeladas são liofilizadas, saindo uma parte em forma de vapor de água. De seguida, as amostras liofilizadas são trituradas e reduzidas a pó. Posteriormente, o processo de extração da fração corante é realizado utilizando água como solvente. Na fase de centrifugação, a matéria-prima que resulta da etapa de extração entra na centrifugadora, da qual uma parte sai como resíduo orgânico. Seguidamente, na filtração (por gravidade) entra a massa resultante do processo de centrifugação, sendo que para proceder à filtração é utilizado um filtro de nylon. No fim desta etapa uma parte do resíduo do fruto e o filtro de nylon são tratados como resíduos orgânicos. Por fim, o sobrenadante é imediatamente congelado e, posteriormente, é feita a sua secagem pela técnica de *spray-drying*, usando maltodextrina, como material adjuvante. Na Figura 14 apresenta-se um fluxograma contendo os fluxos de entrada e saída do ciclo de vida do extrato corante à base de *Sambucus nigra* L., rico em cianidina-3-O-sambubiósido. Na

Tabela 12 estão apresentados os fluxos de matéria-prima relativos a este processo.

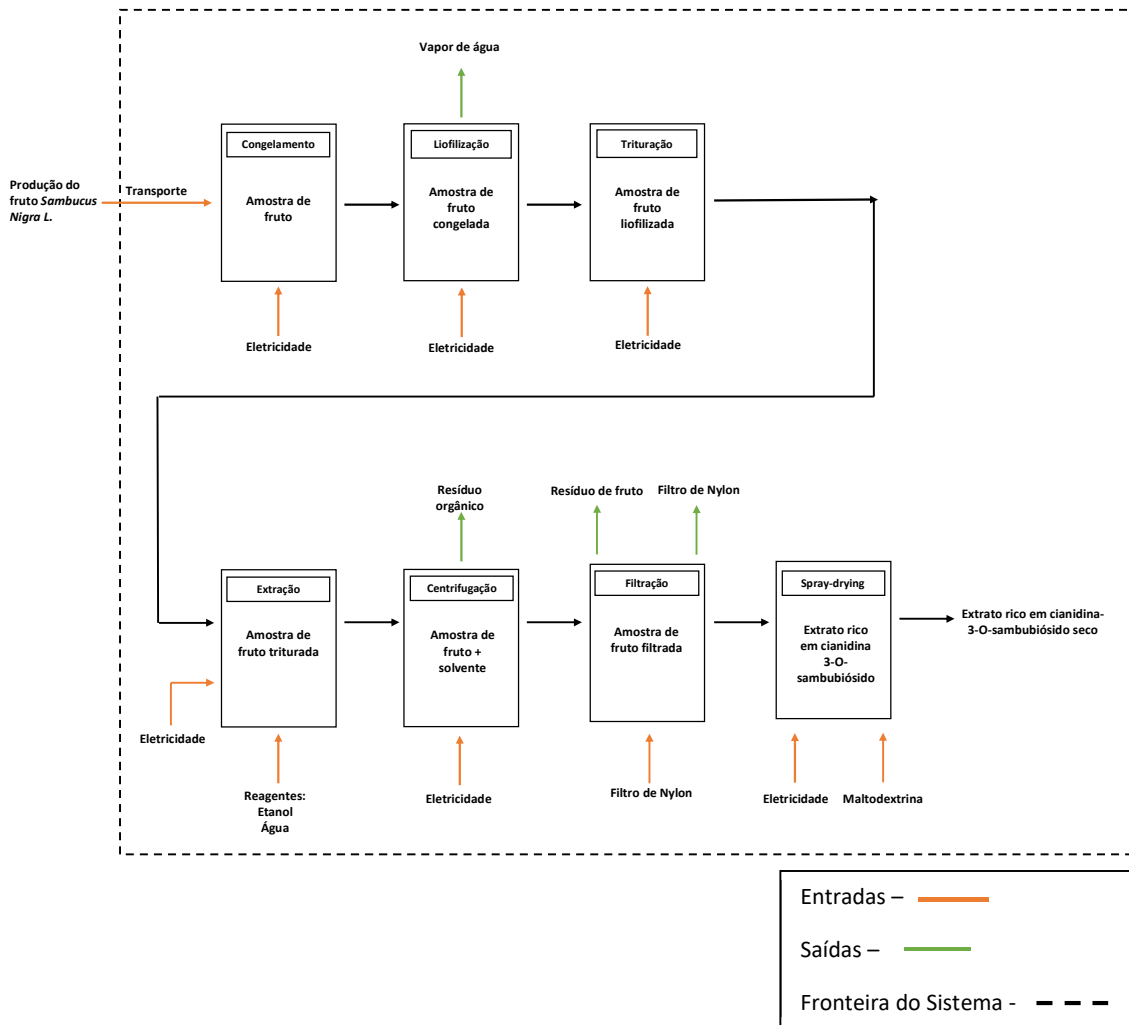


Figura 14 - Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de *Sambucus nigra L.*, rico em cianidina-3-O-sambubiósido.

Tabela 12 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de *Sambucus nigra L.*, rico em cianidina-3-O-sambubiósido.

Processo	Matéria-prima
Congelamento	<i>Input</i>
	Amostra de fruto
	Congelador
Liofilização	<i>Output</i>
	Amostra de fruto congelada
	Liofilizador
Trituração	<i>Input</i>
	Amostra de fruto liofilizada
	Triturador
Extração	<i>Output</i>
	Amostra de fruto triturada
	Água

Processo	Matéria-prima
	Extrator
	Output
	Amostra de fruto + solvente
	Input
Centrifugação	Amostra de fruto + solvente
	Centrifugadora
	Output
	Amostra de fruto centrifugada
	Input
Filtração	Amostra de fruto centrifugada
	Filtro de nylon
	Output
	Resíduo de fruto
	Filtro de nylon
	Extrato rico em cianidina-3-O-sambubiósido
	Input
Spray-drying	Extrato rico em cianidina-3-O-sambubiósido
	Spray-dryer
	Maltodextrina
	Output
	Extrato rico em cianidina-3-O-sambubiósido seco

A produção de extrato corante à base de *Gomphrena globosa L.* utiliza como matéria-prima inflorescências de *G. globosa*. Inicialmente, as amostras são reduzidas a pó para análise. Seguidamente, são extraídas através de maceração, usando água como solvente. Após a extração, o sobrenadante é imediatamente congelado e transformado em pó pela técnica de *spray-drying* usando maltodextrina, como material encapsulante. Na Figura 15 apresenta-se um fluxograma contendo os fluxos de entrada e saída do ciclo de vida do extrato corante à base de *Gomphrena globosa L.*, rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III. Na Tabela 13 estão apresentados os fluxos de matéria-prima relativos a este processo.

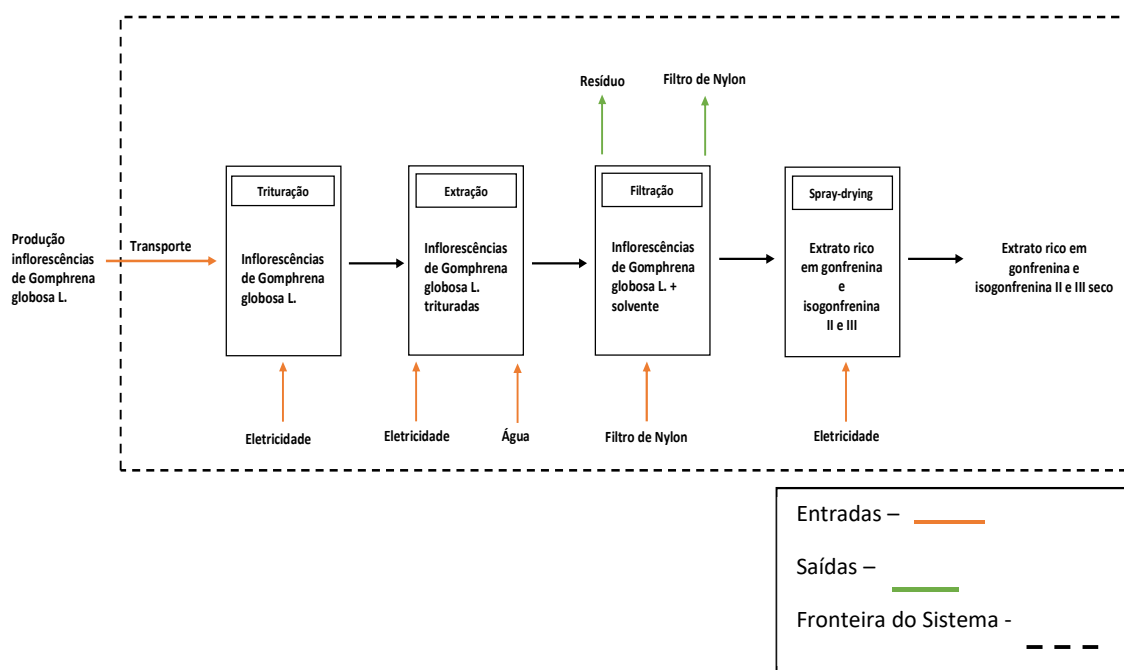


Figura 15 – Inventário do ciclo de vida do extrato corante à base de *Gomphrena globosa L.*, rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III.

Tabela 13 - Fluxo de matéria-prima dos processos associados à produção de extrato corante à base de *Gomphrena globosa* L., rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III.

Processo	Matéria-prima
Trituração	Input Inflorescências de <i>Gomphrena globosa</i> L. Triturador
	Output Inflorescências de <i>Gomphrena globosa</i> L. triturada.
Extração	Input Inflorescências de <i>Gomphrena globosa</i> L. triturada. Água Extrator
	Output Inflorescências de <i>Gomphrena globosa</i> L. + solvente
Filtração	Input Inflorescências de <i>Gomphrena globosa</i> L. + solvente Filtro de nylon
	Output Resíduo Filtro de nylon Extrato rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III
Spray-drying	Input Extrato rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III Spray-dryer Maltodextrina
	Output Extrato rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III seco

RESULTADOS

- 5.1 INTEPRETAÇÃO DE RESULTADOS (ACV)
- 5.2 INTERPRETAÇÃO DE RESULTADOS (MFCA)

5 RESULTADOS

Nesta secção apresentam-se os resultados obtidos para os impactes ambientais que decorrem nas fases do ciclo de vida dos extratos obtidos.

5.1 Interpretação de resultados (ACV)

Nesta secção apresentam-se os resultados para cada uma das categorias dos impactes ambientais selecionados. Os valores apresentados estão de acordo com a unidade funcional definida. Os resultados expostos consideram as etapas de receção da matéria-prima (substrato de origem vegetal) e o processamento até à etapa de produção do aditivo alimentar. De notar, que a análise de ciclo de vida dos corantes naturais não vai ser efetuada, uma vez que, os dados relativos a essas amostras não foram facultados a tempo de terminar a realização desta dissertação.

5.1.1 Extrato enriquecido em micosteróis

Através dos dados do ICV, procedeu-se à quantificação dos impactes ambientais. Esta secção apresenta os potenciais impactes (Figura 16) que são gerados na fase de produção do extrato enriquecido em micosteróis através de biorresíduos de cogumelos, discriminando todos os processos envolvidos, desde a produção até à extração da matéria-prima.

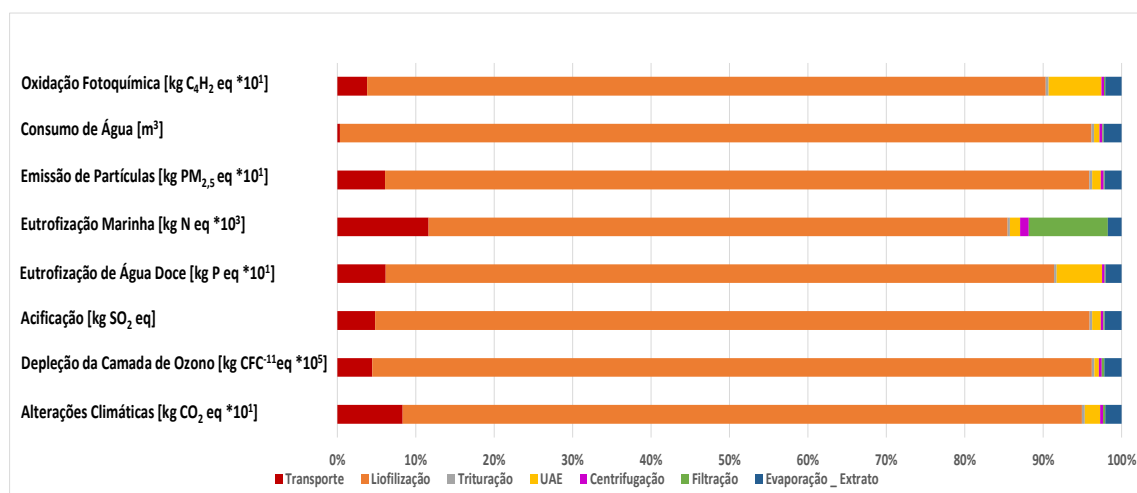


Figura 16 - Fase de produção do extrato enriquecido em micosteróis: desempenho ambiental através dos métodos ReCiPe e CML.

A Tabela 14 apresenta os dados exportados do *software*, que contribuem para a análise que irá ser efetuada. Para maior facilidade de leitura, os impactes mais relevantes estão destacados numa escala de cor, dos valores mais baixos aos mais altos.

Tabela 14 - Desempenho ambiental das várias etapas de produção do extrato enriquecido em micosteróis através dos métodos ReCiPe e CML 2001.

Categorias de Impacto	Transporte	Liofilização	Trituração	UAE	Centrifugação	Filtração	Evaporação
Alterações Climáticas [kg CO ₂ *10 ⁻¹]	2,10E-01	2,18E+00	8,45E-03	4,99E-02	8,92E-03	7,53E-03	5,21E-02
Depleção da camada de ozono [kg CFC ⁻¹¹ eq*10 ⁵]	8,05E-02	1,65E+00	6,41E-03	9,80E-03	6,62E-03	6,31E-03	3,95E-02
Acidificação [kg SO ₂ eq]	6,83E-03	1,29E-01	5,00E-04	1,51E-03	5,15E-04	1,87E-04	3,08E-03
Eutrofização da água doce [kg P eq*10 ²]	1,89E-02	2,61E-01	1,01E-03	1,77E-02	1,05E-03	3,62E-04	6,25E-03
Eutrofização marinha [kg N eq*10 ³]	3,35E-02	2,13E-01	8,25E-04	3,76E-03	3,20E-03	2,90E-02	5,09E-03
Emissão de partículas [kg PM _{2,5} eq*10 ⁴]	2,78E-02	4,11E-01	1,59E-03	5,15E-03	1,64E-03	5,75E-04	9,82E-03
Consumo de água [m ³]	3,70E-03	1,07E+00	4,14E-03	7,27E-03	4,26E-03	1,74E-03	2,55E-02
Oxidação fotoquímica [kg C ₂ H ₄ eq*10 ²]	2,92E-02	6,60E-01	2,56E-03	5,15E-02	2,68E-03	1,22E-03	1,58E-02

Após ampla análise de todos os dados adquiridos do *software*, observou-se que nem todos os processos relacionados com a produção de extrato enriquecido em micosteróis possuem uma contribuição relevante para os impactes ambientais totais, pelo que, posteriormente efetuou-se a seleção dos processos mais impactantes em cada uma das categorias selecionadas.

- **Oxidação Fotoquímica**

Na categoria de oxidação fotoquímica, os impactes gerados devem-se principalmente ao processo de liofilização (87%), no entanto, o processo de extração e o transporte da matéria-prima também contribuem, embora que em menor percentagem, com 7% e 4%, respetivamente, para esta categoria. Os restantes processos não têm um grande peso pelo que só serão analisadas as etapas de liofilização e extração assistida por ultrassons (UAE), bem como o transporte da matéria-prima (Figura 17).

Na etapa de liofilização, os impactes associados resultam da utilização de energia, com um total de $6,60 \times 10^{-3}$ kgC₂H₄/g_{extrato}. Nesta etapa, os impactes originados pelo consumo de eletricidade resultam da utilização de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, dos quais a eletricidade gerada por cogeração de petróleo tem maior contribuição, alcançando 60% do impacte total, seguida da energia produzida por carvão (10%), a mesma quantidade de impactes potenciais que a produção criada por gás natural, em que estes são sobretudo devidos à produção na Europa e, por fim, a eletricidade gerada por cogeração de madeira corresponde a 8% dos impactes totais. A importação da eletricidade de Espanha representa 8% dos impactes totais, sobretudo à custa da produção com base no carvão.

Na extração assistida por ultrassons (UAE), a maior parte dos impactes estão associados à utilização de etanol (96%). Os impactes relacionados com o uso do etanol devem-se, maioritariamente, à hidratação do etileno (95%) e à produção do mesmo (10%). Em contraste, nesta etapa, a eletricidade gerada por cogeração de petróleo representa apenas 3% dos impactes gerados. Assim, o processo de extração verifica um total de $5,15 \times 10^{-4} \text{ kgC}_2\text{H}_4/\text{g}_{\text{extrato}}$.

No transporte da matéria-prima, a maioria dos impactes deve-se essencialmente ao consumo de diesel (33%), devido principalmente à produção de petróleo que apresenta na sua constituição. O transporte da matéria-prima verifica um total de $1,97 \times 10^{-4} \text{ kgC}_2\text{H}_4/\text{g}_{\text{extrato}}$.



Figura 17 - Desempenho ambiental na categoria "Oxidação Fotoquímica" - Ergosterol.

• Consumo de Água

Na categoria de Consumo de Água, o processo de liofilização é o principal contribuinte para os impactes totais gerados (96%), com um total de $1,07 \text{ m}^3/\text{g}_{\text{extrato}}$ nesta categoria. Já as fases de extração assistida por ultrassons (UAE) e evaporação têm uma contribuição residual (Figura 18). Na fase de liofilização, os impactes gerados derivam do consumo de eletricidade. A produção de eletricidade com base em energias renováveis com mais impactes no consumo de água é a energia hidroelétrica com 61% do impacto total, devido à construção da central hidroelétrica, seguida pela produção através da cogeração de petróleo (34%).



Figura 18 - Desempenho ambiental na categoria "Consumo de água" - Ergosterol.

• Emissões de Partículas

A etapa de liofilização gera quase a totalidade dos impactes na categoria de Emissões de Partículas (90%), tal como na categoria anterior, seguida pelo transporte da matéria-prima com 6% do valor total (Figura 19).

Na fase de liofilização, os impactes estão novamente associados ao consumo de eletricidade. Neste fluxo energético, a produção de eletricidade por cogeração de petróleo é o principal contribuinte, alcançando 64% do total de impactes, seguida da produção de eletricidade por carvão (12%), da energia gerada por gás natural, e da energia gerada por cogeração da madeira, que correspondem a 5% para cada fonte. A importação da energia de Espanha é responsável por 10% dos impactes totais, sobretudo devido à produção com base no carvão. Assim sendo, o processo de liofilização apresenta um total de $4,11 \times 10^{-2}$ kg PM_{2,5} eq/g_{extrato}.

Na fase de transporte da matéria-prima, os impactes gerados estão relacionados, maioritariamente, com o consumo de diesel (24%). Isto deve-se aos impactes da produção de petróleo que o diesel apresenta na sua constituição. O transporte verifica, então, um total de $1,84 \times 10^{-3}$ kg PM_{2,5} eq/g_{extrato}.



Figura 19 - Desempenho ambiental na categoria "Emissões de Partículas"- Ergosterol.

• Eutrofização Marinha

Relativamente à Eutrofização Marinha, os impactes gerados devem-se, essencialmente, ao processo de liofilização (74%), seguido do transporte (12%) e do processo de filtração (10%). Os outros processos não apresentam uma contribuição relevante, sendo que, apenas o processo de liofilização e filtração, bem como o transporte de matéria-prima serão analisados (Figura 20).

Na etapa de liofilização, os impactes estão relacionados com o uso de energia. A produção de eletricidade com base em carvão corresponde a 36% dos impactes resultantes. A eletricidade importada de Espanha tem também uma contribuição significativa, principalmente, devido à produção de eletricidade com base no carvão, uma vez que, 32% dos impactes totais são devidos a este fluxo. Ambos os fluxos estão relacionados com o mercado de produção do carvão na Europa, onde o fluxo tem impacto no tratamento do despoejamento gerado (poços de mineração) a partir de atividades de extração do carvão. Este despoejamento é ácido e contém metais pesados. Consequentemente, quando chove, a infiltração da água pode causar lixiviação

das partículas e provocar a mobilidade dos poluentes para as águas subterrâneas. Nesta etapa, a produção de energia de base renovável com maior impacte nesta categoria é a energia eólica com 11% do impacte total, este valor é relativo à operação e manutenção da central eólica. Assim, o processo de liofilização nesta categoria apresenta um valor total de $2,13 \times 10^{-4}$ kg N eq/g_{extrato}.

No processo de filtração, o principal contribuinte é a utilização de filtro de nylon (65%), com um total de $2,9 \times 10^{-5}$ kg N eq/g_{extrato} nesta categoria. Estes impactes derivam da geração de resíduos perigosos que são incinerados no seu tratamento final. O tratamento final do nylon e dos resíduos de cogumelos contribuem com 22% e 13%, respetivamente, dos impactes totais gerados nesta categoria, devido à energia produzida com base no carvão.

No transporte da matéria-prima, o principal contribuinte é o uso de um camião com máquina frigorífica (75%), pois esta máquina é revestida por poliuretano que serve como isolante térmico. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um valor total de $2,42 \times 10^{-5}$ kg N eq/g_{extrato}.



Figura 20 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização Marinha" - Ergosterol.

• Eutrofização de Água Doce

O processo de liofilização é o principal contribuinte para a categoria de Eutrofização de Água Doce (85%), contudo, o processo de extração e o transporte de matéria-prima, embora em menor percentagem, também contribuem para esta categoria, com 6% para cada fonte. Os restantes processos não têm um peso significativo nesta categoria, pelo que só serão analisadas as etapas de liofilização, extração assistida por ultrassons e transporte da matéria-prima (Figura 21).

Na fase de liofilização, os impactes gerados relacionam-se, maioritariamente, com a utilização de energia. A produção de energia por carvão corresponde a 47% dos impactes totais. A eletricidade importada de Espanha tem também uma contribuição significativa, principalmente, devido à produção de eletricidade com base no carvão, uma vez que, 27% dos impactes totais são devidos a este fluxo. Ambos os fluxos estão relacionados com o mercado de produção de carvão, onde o fluxo tem impacte no tratamento do despoejamento gerado (poços de mineração) a partir das atividades de extração de carvão. A rede de transmissão representa 8% dos impactes totais, visto que, apresenta cobre na sua constituição. No que respeita ao cobre, nesta categoria, os

impactes estão mais próximos da fase de ciclo de vida de extração, especificamente do minério de cobre sulfídrico que pode transportar metais perigosos para ambientes aquáticos ao longo da sua vida útil. A produção de energia de base renovável com maior impacto é a energia eólica com 7% do impacto total, este valor é relativo à operação e manutenção da central eólica. Assim, o processo de liofilização verifica um total de $2,61 \times 10^{-3}$ kg P eq/g_{extrato}.

No processo de extração assistida por ultrassons (UAE), a maior parte dos impactes está relacionada com a utilização de etanol (95%) devido, maioritariamente, à hidratação do etileno (94%) e à construção do laboratório, pois tem cobre na sua composição. O processo de extração apresenta um valor total de $1,77 \times 10^{-4}$ kg P eq/g_{extrato}.

No transporte de matéria-prima, o principal contribuinte é a produção do camião (71%), uma vez que é constituído por cobre. O cobre gera impactes nesta categoria, principalmente, devido ao minério de cobre sulfídrico que transportam metais perigosos para o meio aquático. Também a utilização de diesel contribui significativamente, com 19% da totalidade de impactes. Este fluxo, está relacionado com o mercado do carvão, onde o fluxo tem impacto no tratamento do despoejamento produzido (poços de mineração) a partir das atividades de extração do carvão. Sendo assim, o transporte de matéria-prima apresenta um total de $1,34 \times 10^{-4}$ kg P eq/g_{extrato}.



Figura 21 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização de Água Doce" - Ergosterol.

• Acidificação

Na categoria de Acidificação, a etapa de liofilização contribui com a maior percentagem da totalidade de impactes (91%), seguida pelo transporte da matéria-prima com 5% dos impactes totais desta categoria. Os outros processos não têm um peso relevante nesta categoria, pelo que, só serão analisadas a etapa de liofilização e transporte (Figura 22).

Na fase de liofilização, os impactes estão, principalmente, associados ao uso de energia, com um total de $1,29 \times 10^{-1}$ kg SO₂ eq/g_{extrato} nesta categoria. A produção de energia por cogeração de petróleo tem a maior contribuição nesta categoria de impacto, alcançando 67% dos impactes totais, seguida da produção de eletricidade com base no carvão (12%) devido à produção na Europa. As importações de Espanha representam 9% do total de impactes, principalmente devido à produção com base no carvão.

No transporte da matéria-prima, a maioria dos impactos deve-se, essencialmente, ao consumo de diesel (29%), devido principalmente à produção de petróleo que apresenta na sua constituição. Sendo assim, o transporte verifica um valor total de $4,53 \times 10^{-3}$ kg SO₂ eq/g_{extrato}.



Figura 22 - Desempenho ambiental na categoria "Acidificação" - Ergosterol.

• Depleção da Camada de Ozono

Os impactos gerados na categoria de Depleção da Camada de Ozono devem-se principalmente, ao processo de liofilização (92%) com um total de $1,65 \times 10^{-5}$ kg CFC⁻¹¹ eq/g_{extrato} nesta categoria, seguido pelo transporte de matéria-prima com 5% dos impactos totais. Os restantes processos não têm um peso relevante nesta categoria, pelo que, só serão analisados o processo de liofilização e transporte (Figura 23).



Figura 23 - Desempenho ambiental na categoria "Depleção da Camada de Ozono" - Ergosterol.

Na fase de liofilização, a produção de eletricidade com base no gás natural é o principal contribuinte para o impacto total (23%), seguido da cogeração a partir do petróleo com 22% e da cogeração a partir da madeira (16%). Os impactos do gás natural são, principalmente, devidos à produção na Europa, especialmente na Rússia. As importações da energia de Espanha representam 6% dos impactos totais devido à produção com base em carvão.

No transporte da matéria-prima, a utilização do diesel é o principal contribuinte para esta categoria de impacto, devido essencialmente à produção de petróleo que apresenta na sua constituição. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um total de $5,19 \times 10^{-7}$ kg CFC⁻¹¹ eq/g_{extrato}.

- **Alterações Climáticas**

O processo de liofilização é o principal motor dos impactes totais nesta categoria (87%); no entanto, o transporte da matéria-prima também contribui, embora em menor percentagem, para esta categoria (9%). Os outros processos não têm um peso relevante nesta categoria, pelo que, só serão analisados o processo de liofilização e transporte (Figura 24).

No processo de liofilização, a produção de eletricidade a partir de gás natural é a que mais contribui para esta categoria, alcançando 47% da totalidade de impactes, seguido da cogeração a partir do petróleo (23%) e da produção de energia com base em carvão (11%). Os impactes do gás natural são, principalmente, devidos à produção na Europa. A importação da energia de Espanha é responsável por 8% dos impactes totais, sobretudo devido à produção com base no carvão. Assim, o processo de liofilização verifica um total de 21,8 kg CO₂ eq/g_{extrato}.

No transporte de matéria-prima, os impactes devem-se, sobretudo, ao consumo de diesel (12%). Estes impactes são devidos ao petróleo que o diesel apresenta na sua constituição. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um total de 1,36 kg CO₂ eq/g_{extrato}.



Figura 24 - Desempenho ambiental na categoria "Alterações Climáticas" - Ergosterol.

5.1.2 Extrato enriquecido em Vitamina D2

Esta secção apresenta os potenciais impactes (Figura 25) que são gerados na fase de produção do extrato enriquecido em vitamina D2 através de biorresíduos de cogumelos, discriminando todos os processos envolvidos, desde a produção até à extração da matéria-prima. Através dos dados do ICV, procedeu-se à quantificação dos impactes ambientais. A Tabela 15 apresenta os dados exportados do software que contribuem para a análise que irá ser efetuada. Para maior facilidade de leitura, os impactes mais relevantes estão destacados numa escala de cor, dos valores mais baixos aos mais altos.

Tal como no extrato enriquecido em micosteróis, foi efetuada uma análise dos dados obtidos no *SimaPro* e, constatou-se que nem todos os processos relacionados com este extrato revelavam impacte para o meio ambiente. Assim sendo, realizou-se uma seleção dos processos mais impactantes em cada uma das categorias selecionadas.

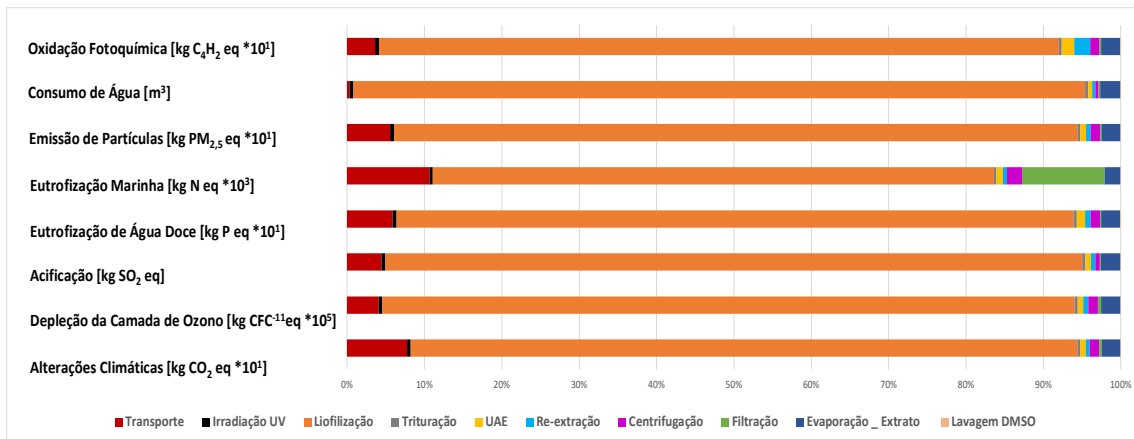


Figura 25 - Fase de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2: desempenho ambiental através dos métodos ReCiPe e CML.

Tabela 15 – Desempenho ambiental das várias etapas de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2 através dos métodos ReCiPe e CML 2001.

Categorias de Impacto	Transporte	Irradiação UV	Liofilização	Trituração	UAE	Re-extração	Centrifugação	Filtração	Evaporação	Lavagem DMSO
Alterações Climáticas [kg CO ₂ *10 ⁻¹]	2,10E-01	1,25E-02	2,34E+00	1,05E-02	1,91E-02	1,42E-02	3,27E-01	9,17E-03	6,51E-02	1,44E-03
Depleção da camada de ozono [kg CFC ¹¹ eq*10 ⁵]	8,05E-02	9,48E-03	1,77E+00	8,00E-03	1,37E-02	1,34E-02	2,47E-07	7,88E-03	4,94E-02	9,20E-04
Acidificação [kg SO ₂ eq]	6,83E-03	7,40E-04	1,38E-01	6,24E-04	1,11E-03	8,71E-04	1,92E-03	2,34E-04	3,85E-03	7,44E-05
Eutrofização da água doce [kg P eq*10 ²]	1,89E-02	1,50E-03	2,80E-01	1,26E-03	3,49E-03	2,23E-03	3,90E-05	4,49E-04	7,81E-03	3,09E-04
Eutrofização marinha [kg N eq*10 ³]	3,35E-02	1,22E-03	2,28E-01	1,03E-03	2,57E-03	1,65E-03	6,10E-06	3,36E-02	6,36E-03	2,00E-04
Emissão de partículas [kg PM _{2,5} eq*10 ¹]	2,78E-02	2,36E-03	4,40E-01	1,99E-03	3,78E-03	2,91E-03	6,12E-04	7,19E-04	1,23E-02	2,54E-04
Consumo de água [m ³]	3,70E-03	6,12E-03	1,14E+00	5,16E-03	5,89E-03	5,14E-03	1,59E-02	2,18E-03	3,19E-02	5,26E-04
Oxidação fotoquímica [kg C ₂ H ₄ eq*10 ²]	2,92E-02	3,79E-03	7,08E-01	3,19E-03	1,28E-02	1,67E-02	9,89E-05	1,49E-03	1,97E-02	7,28E-04

• Oxidação Fotoquímica

Na categoria de oxidação fotoquímica, os impactes gerados devem-se principalmente ao processo de liofilização (87%), no entanto, o transporte de matéria-prima também contribui, embora em menor percentagem, para esta categoria (4%). Os restantes processos não apresentam grande relevância, pelo que, só serão analisadas a fase de liofilização e o transporte (Figura 26).

Na fase de liofilização, os impactes associados resultam da utilização de energia. Os impactes originados pelo consumo de eletricidade resultam da utilização de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, dos quais a eletricidade produzida por cogeração do petróleo tem uma maior contribuição, alcançando 60% do impacte total, seguida da produzida por carvão (10%), a mesma quantidade de impactes potenciais que a produção criada por gás natural, em que estes são devidos à produção na Europa. As importações da energia de Espanha representam 8% dos impactes totais, especialmente, devido à produção de energia com base em carvão. Assim, o processo de liofilização apresenta um valor total de $7,07 \times 10^{-3} \text{ kgC}_2\text{H}_4/\text{g}_{\text{extrato}}$.

No transporte da matéria-prima, a maioria dos impactes deve-se, essencialmente, ao consumo de diesel (33%) devido à produção de petróleo que apresenta na sua constituição. O transporte da matéria-prima representa um total de $1,97 \times 10^{-3} \text{ kgC}_2\text{H}_4/\text{g}_{\text{extrato}}$.

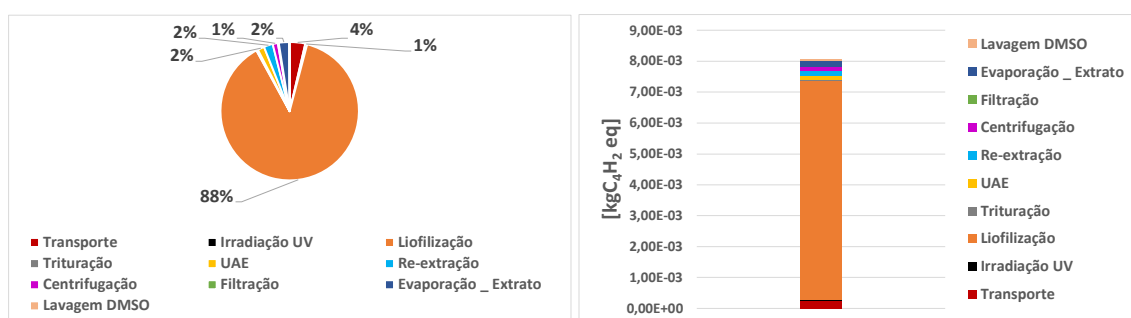


Figura 26 - Desempenho ambiental na categoria "Oxidação Fotoquímica" - Vitamina D2.

• Consumo de Água

Na categoria de Consumo de água, o processo de liofilização é o principal contribuinte para os impactes totais gerados (95%), com um total de $1,14 \text{ m}^3/\text{g}_{\text{extrato}}$ nesta categoria. Já o processo de evaporação também contribui, embora com uma menor percentagem (3%). Os outros processos não apresentam relevância para análise, pelo que, só serão analisados os processos de liofilização e evaporação (Figura 27).

Na fase de liofilização, a maioria dos impactes derivam do consumo de eletricidade. A produção de energia com base em energias renováveis com mais impactes potenciais no consumo de água é a energia hidroelétrica com 61% do total de impactes, seguido da eletricidade produzida por cogeração a partir do petróleo (34%).

No processo de evaporação os valores são iguais aos do processo de liofilização, percentualmente. No entanto, o processo de evaporação apresenta um valor total de $3,19 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{g}_{\text{extrato}}$.

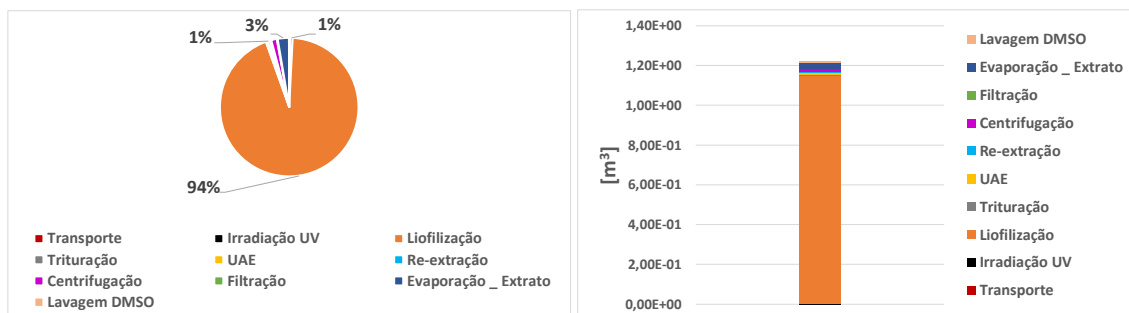


Figura 27 - Desempenho ambiental na categoria "Consumo de água" - Vitamina D2.

• Emissões de Partículas

A etapa de liofilização é o principal motor dos impactos totais nesta categoria (89%), tal como na categoria anterior, seguida pelo transporte da matéria-prima com 6% do valor total. Os restantes processos não são relevantes para análise nesta categoria, pelo que, só o processo de liofilização e o transporte da matéria-prima é que serão analisados (Figura 28).

No processo de liofilização, a produção de energia por cogeração a partir de petróleo é o principal contribuinte desta categoria (64%), seguido da produção com base no carvão (12%). As importações de energia de Espanha são responsáveis por 10% dos impactos totais. Assim, o processo de liofilização apresenta um valor total de $4,40 \times 10^{-2} \text{ kg PM}_{2,5} \text{ eq}/\text{g}_{\text{extrato}}$.

Na fase de transporte da matéria-prima, o consumo de diesel é o principal contribuinte para a totalidade de impactos nesta categoria. Isto deve-se à produção de petróleo que o diesel apresenta na sua constituição. O transporte verifica, então, um total de $1,84 \times 10^{-3} \text{ kg PM}_{2,5} \text{ eq}/\text{g}_{\text{extrato}}$.



Figura 28 - Desempenho ambiental na categoria "Emissões de Partículas" - Vitamina D2.

• Eutrofização Marinha

Relativamente à Eutrofização Marinha, os impactos gerados devem-se, essencialmente

ao processo de liofilização (74%), no entanto, o processo de filtração e o transporte da matéria-prima também contribuem para esta categoria, 11% para cada fonte. Os restantes processos não apresentam relevância para efetuar a análise dos mesmos, pelo que, só será feita a análise dos processos de liofilização e de filtração, bem como, do transporte da matéria-prima (Figura 29).

Na etapa de liofilização, os impactes estão novamente associados ao consumo de eletricidade. Neste fluxo energético, a produção de eletricidade a partir do carvão representa 36% da totalidade de impactes. A importação de eletricidade de Espanha também apresenta uma contribuição significativa, uma vez que 32% dos impactes resultantes são devidos a este fluxo. Ambos os fluxos estão relacionados com o mercado de produção na Europa, onde o fluxo tem impacte no tratamento de despoeiramento gerado (poços de mineração), a partir de atividades de extração do carvão. Quando chove, ocorre infiltração das águas podendo esta infiltração causar lixiviação e provocar o deslocamento dos poluentes para as águas subterrâneas. A produção de energia de base renovável com maior impacte nesta categoria é a energia eólica representando 11% do total de impactes, devido à operação e manutenção da central eólica. Assim, o processo de liofilização apresenta um valor total de $2,28 \times 10^{-4}$ kg N eq/gextrato.

No processo de filtração, o principal contribuinte é o filtro de nylon (70%). Estes impactes resultam da geração de resíduos perigosos que são incinerados no seu tratamento final. Os tratamentos finais dos resíduos contribuem com 30% dos impactes totais, devido à energia produzida com base no carvão. Assim sendo, o processo de filtração verifica um total valor de $3,36 \times 10^{-5}$ kg N eq/gextrato.

No transporte da matéria-prima, o principal contribuinte é o uso de um camião com máquina frigorífica (70%), pois esta máquina é revestida por poliuretano que serve como isolante térmico. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um valor total de $2,42 \times 10^{-5}$ kg N eq/gextrato.

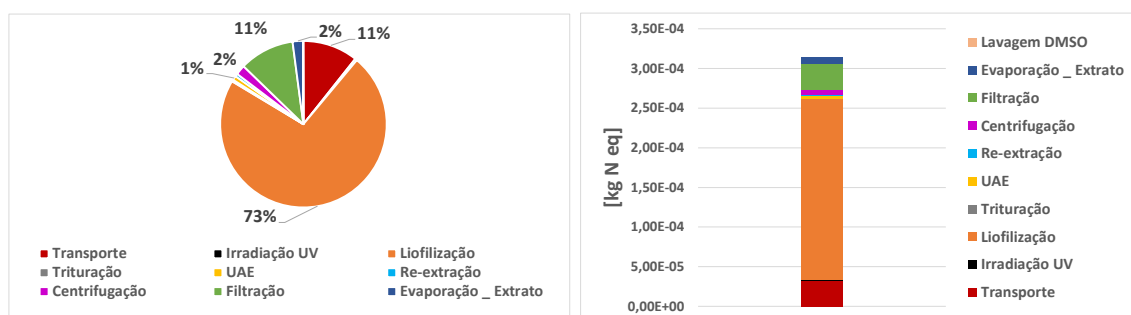


Figura 29 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização Marinha" - Vitamina D2.

• Eutrofização de Água Doce

O processo de liofilização é o principal contribuinte para a categoria de Eutrofização de Água Doce (88%), com um total de $2,80 \times 10^{-3}$ kg P eq/gextrato nesta categoria. Também o transporte da matéria-prima, embora em menor percentagem, contribui para esta

categoria, com 6%. Os outros processos não apresentam grande relevância, pelo que, só serão analisados os processos de liofilização e evaporação, bem como, o transporte da matéria-prima (Figura 30 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização de Água Doce" - Vitamina D2.).

No processo de liofilização, a utilização de energia é o que mais contribui nesta categoria. A produção de eletricidade a partir do carvão representa 47% dos impactes totais. A importação de eletricidade de Espanha também contribui significativamente, sobretudo, devido à produção de eletricidade com base no carvão, uma vez que 27% dos impactes totais são devidos a este fluxo. Estes dois fluxos estão relacionados com o mercado de produção de carvão, onde o fluxo tem impacte no tratamento do despoejamento gerado (poços de mineração) a partir das atividades de extração de carvão. A produção de eletricidade de base renovável com maior impacte é a energia eólica com 7% dos impactes totais, tal facto deve-se à operação e manutenção da central eólica. A rede de transmissão representa 8% da totalidade de impactes, pois contém cobre na sua constituição. Os impactes do cobre, nesta categoria, estão mais próximos do ciclo de vida de extração, especificamente, do minério de cobre sulfídrico, que podem transportar metais perigosos para ambientes aquáticos ao longo da sua vida útil.

No transporte de matéria-prima, o principal contribuinte é a produção do camião (71%), uma vez que, é constituído por cobre. O cobre gera impactes nesta categoria, principalmente devido a minério de cobre sulfídrico que transportam metais perigosos para o meio aquático. Também a utilização de diesel contribui, significativamente, com 19% da totalidade de impactes. Este fluxo está relacionado com o mercado do carvão, onde o fluxo tem impacte no tratamento do despoejamento produzido (poços de mineração) a partir das atividades de extração do carvão. Sendo assim, o transporte de matéria-prima apresenta um total de $1,34 \times 10^{-4}$ kg P eq/g_{extrato}.



Figura 30 - Desempenho ambiental na categoria "Eutrofização de Água Doce" - Vitamina D2.

• Acidificação

Na categoria de Acidificação, a etapa de liofilização contribui com a maior percentagem da totalidade de impactes (90%), tal como na categoria anterior, seguido pelo processo de evaporação (3%) e pelo transporte da matéria-prima (4%). Os outros processos não revelam grande significado, pelo que, só serão analisados os processos de liofilização e evaporação, como também o transporte de matéria-prima (Figura 31).

Na etapa de liofilização, a utilização de energia é o fluxo com maior contribuição para esta categoria. A produção de energia a partir da cogeração de petróleo apresenta a maior contribuição para esta categoria com 67% da totalidade de impactes, seguida da produção de eletricidade com base no carvão (12%). As importações de Espanha também contribuem para esta categoria com 8% dos impactes totais devido, sobretudo, à produção de energia com base em carvão. Assim sendo, o processo de liofilização verifica um total de $1,38 \times 10^{-1}$ kg SO₂ eq.

No processo de evaporação, a maior contribuição para esta categoria de impacte deve-se à produção de energia com base na cogeração de petróleo com 67% dos impactes totais. A produção de eletricidade a partir de carvão contribui com 12% na totalidade de impactes, devido principalmente a produção de carvão na Europa. As importações de eletricidade de Espanha representam 8%, sobretudo à custa da produção de energia com base no carvão. Assim, a utilização de energia na fase de evaporação apresenta um total de $3,85 \times 10^{-3}$ kg SO₂ eq/g_{extrato}.

No transporte da matéria-prima, a maioria dos impactes deve-se, essencialmente, ao consumo de diesel (29%), devido à produção de petróleo que entra na sua constituição. Sendo assim, o transporte representa um valor total de $4,53 \times 10^{-3}$ kg SO₂ eq/g_{extrato}.

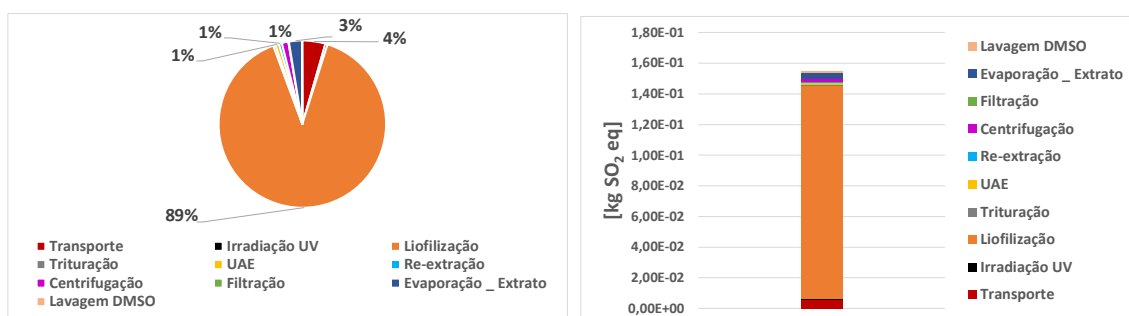


Figura 31 - Desempenho ambiental na categoria "Acidificação" - Vitamina D2.

• Depleção da Camada de Ozono

Os impactes gerados nesta categoria, devem-se ao processo de liofilização (90%), com um total de $1,77 \times 10^{-5}$ kg CFC⁻¹¹ eq/g_{extrato} para esta categoria, seguida pelo processo de evaporação (3%) e pelo transporte de matéria-prima (4%). Os restantes processos não apresentam um peso relevante nesta categoria, sendo que, apenas os processos de liofilização e evaporação, bem como, o transporte da matéria-prima serão analisados (Figura 32 - Desempenho ambiental na categoria "Depleção da Camada de Ozono" - Vitamina D2.).

Na fase de liofilização, a utilização de energia é a etapa que mais contribui para o total de impactes. O principal contribuinte nesta fase é a produção de energia com base no gás natural (23%) devido, sobretudo, à produção de eletricidade na Europa, principalmente na Rússia. A produção de energia a partir da cogeração de petróleo representa 22% dos impactes totais, seguido da cogeração a partir da madeira com 16%.

A energia importada de Espanha corresponde a 6% da totalidade de impactes, devido à produção de energia com base no carvão.

O processo de evaporação, em termos percentuais, é igual ao processo de liofilização. No entanto, o processo de evaporação representa um total de $4,94 \times 10^{-7}$ kg CFC⁻¹¹ eq/g_{extrato}.

No transporte da matéria-prima, o consumo de diesel é o principal contribuinte para esta categoria de impacte (51%), devido, essencialmente, à produção de petróleo que apresenta na sua constituição. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um total de $5,19 \times 10^{-7}$ kg CFC⁻¹¹ eq/g_{extrato}.

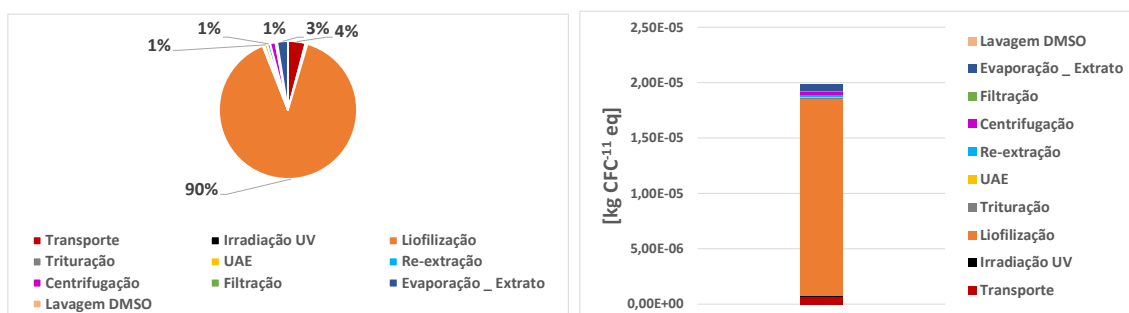


Figura 32 - Desempenho ambiental na categoria "Depleção da Camada de Ozono" - Vitamina D2.

• Alterações Climáticas

O processo de liofilização é o principal motor dos impactes totais nesta categoria (87%). O transporte de matéria-prima, embora que em menor percentagem, também contribui com 8% para esta categoria. Os outros processos não apresentam relevância para esta categoria, sendo que, apenas o processo de liofilização e o transporte de matéria-prima serão analisados ao pormenor (Figura 33 - Desempenho ambiental na categoria "Alterações Climáticas" - Vitamina D2.).

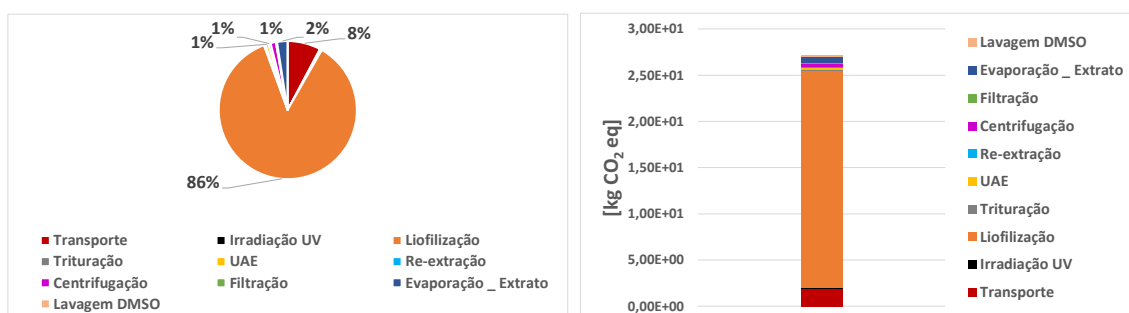


Figura 33 - Desempenho ambiental na categoria "Alterações Climáticas" - Vitamina D2.

No processo de liofilização, a principal contribuição é a produção de energia a partir de gás natural, alcançando 47% da totalidade de impactes, seguido da produção de eletricidade a partir da cogeração de petróleo (23%) e da produção com base em carvão (11%). A eletricidade importada de Espanha representa 8% dos impactes totais devido, principalmente, à produção de energia com base em carvão. Assim, o processo de liofilização representa um total de 23,4 kg CO₂ eq/g_{extrato}.

No transporte de matéria-prima, os impactes devem-se, sobretudo, ao consumo de diesel (12%). Estes impactes são devidos ao petróleo que o diesel apresenta na sua constituição. Sendo assim, o transporte da matéria-prima apresenta um total de 1,36 kg CO₂ eq/g_{extrato}.

5.2 Interpretação de Resultados (MFCA)

O MFCA é uma metodologia que identifica quantidades de cada material e seus custos (incluindo material, processamento e custos de tratamento de resíduos). Isto permite-nos analisar cada uma das fontes de produção de resíduos de uma forma separada e identificar oportunidades de melhoria que poderiam levar à redução da produção de resíduos. O material inclui qualquer matéria-prima ou material auxiliar que é utilizado para fabricar o produto. A primeira etapa a considerar nesta metodologia é a decisão dos centros de quantidade. O centro de quantidade é o ponto em que o balanço material será calculado tanto em unidades físicas como monetárias. Para este caso específico, decidiu-se que cada um dos processos envolvidos na produção de cada extrato seriam centros de quantidade, no entanto, não se pôde avançar mais por falta de dados financeiros. Nesta metodologia, os fluxos de materiais dentro do processo são quantificados em unidades físicas e, de seguida, são atribuídos custos associados. Quanto às unidades físicas, estas relacionam-se com o material em termos de massa e energia, e foram fornecidas pelos parceiros, no que respeita aos bioativos naturais. Quanto às unidades monetárias, estas são divididas em quatro custos: custo de material, custo de energia, custo do sistema e custo de gestão de resíduos.

Na Tabela 16 e na Tabela 17 apresentam-se as unidades monetárias do extrato enriquecido em micosteróis e do extrato enriquecido em Vitamina D2 e, respetivamente, fornecidas por parte dos parceiros.

Como se observa nas referidas tabelas, os dados fornecidos pelos parceiros não são suficientes para concluir a análise, pois só são fornecidos custos de material e custos de energia. Sendo estas produções, processos experimentais não estão otimizadas para obter dados em relação aos custos, uma vez que, estas produções se encontram num TRL 2-3. O principal objetivo que se pretendia atingir com esta metodologia, era conseguir estimar os gastos que se teria em desperdícios, poluição e ineficiências e assim conseguir avaliar onde se poderia melhorar o processo de produção destes extratos.

Na Tabela 16 são apresentados os custos relativos ao extrato enriquecido em micosteróis. De salientar, que os dados representados estão de acordo com os fluxogramas apresentados no capítulo 4. Como observado anteriormente, este extrato foi submetido a vários processos. No processo de liofilização, foi utilizado um liofilizador que funcionou durante 48 horas, pelo que teve um consumo energético de 28,84 kWh. Na etapa de trituração, foi utilizado um triturador que funcionou durante cinco minutos, pelo que teve um consumo energético de 0,112 kWh. Na extração assistida por

ultrassons, utilizou-se um extrator durante 15 minutos e teve um consumo energético de 0,09375 kWh. Neste processo foi também utilizado 150 mL de etanol e o custo apresentado é relativo ao consumo de 150 mL de etanol. Na etapa de centrifugação, foi utilizada uma centrifugadora durante cinco minutos, pelo que teve um consumo energético de 0,117 kWh. No processo de filtração foi utilizado um filtro de nylon e o custo apresentado é relativo à utilização de um filtro. Por fim, no processo de evaporação, foi utilizado um evaporador durante 30 minutos e teve um consumo energético de 0,700 kWh. Os custos relativos aos consumos energéticos são apresentados de acordo com o período de funcionamento.

Tabela 16 - Fluxo de custos associados ao processo de produção do extrato enriquecido em micosteróis.

Processo	Material	Custos	Tipo de custo
Liofilização	Liofilizador (1 peça)	250000€	Custo de material
	Energia do liofilizador (28,84 kWh)	3,47€	Custo de energia
Trituração	Triturador (1 peça)	50€	Custo de material
	Energia do triturador (0,112 kWh)	0,002€	Custo de energia
Extração Assistida por Ultrassons (UAE)	Extrator (1 peça)	3700€	Custo de material
	Etanol (150 mL)	0,504€	Custo de material
	Energia do extrator (0,09375kWh)	0,002€	Custo de energia
Centrifugação	Centrifugadora (1 peça)	720€	Custo de material
	Energia da centrifugadora (0,117 kWh)	0,0173€	Custo de energia
Filtração	Filtro de nylon (2,69 g)	0,36€	Custo de material
Evaporação	Evaporador (1 peça)	6000€	Custo de material
	Energia do evaporador (0,700 kWh)	0,014€	Custo de energia

Na Tabela 17, são apresentados os custos relativos ao extrato enriquecido em Vitamina D2.

Tal como no extrato observado na tabela 16, também os dados apresentados neste extrato estão conforme os fluxogramas apresentados no capítulo 4. Como observado nos fluxogramas, para produzir este extrato foram considerados vários processos. No processo de irradiação UV, foi utilizada uma câmara de irradiação durante 10 minutos, pelo que teve um consumo energético de 0,133 kWh. Os processos de liofilização e trituração apresentam as mesmas características que o extrato que foi detalhado acima. No processo de extração assistida por ultrassons, foi utilizado um extrator durante 30 minutos e teve um consumo energético de 0,09375 kWh, no entanto, neste processo foram utilizados 20 mL de hexano, 10 mL de metanol e 10 mL de DMSO. Os custos apresentados na Tabela 17 relativos a estes solventes estão de acordo com o volume utilizado. No processo de re-extração, os consumos energéticos e o período de funcionamento são iguais ao processo de UAE, contudo, nesta etapa são utilizados 40 mL de hexano e, também estes custos, são relativos ao volume de hexano utilizado. As etapas de centrifugação, filtração e evaporação ocorrem nas mesmas condições que o extrato acima apresentado. Por fim, no processo de lavagem do DMSO, foi utilizado um evaporador durante 15 minutos, pelo que teve um consumo energético de 0,350 kWh. Neste processo, foi também utilizado 20 mL de acetato de etilo e o custo está associado

à utilização deste volume. Os custos relativos aos consumos energéticos são apresentados de acordo com o período de funcionamento.

Tabela 17 - Fluxo de custos associados ao processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D2.

Processo	Material	Custos	Tipo de custo
Irradiação UV	Câmara de irradiação (1 peça)	14000€	Custo de material
	Energia da câmara de irradiação (0,133 kWh)	0,0186€	Custo de energia
Liofilização	Liofilizador (1 peça)	250000€	Custo de material
	Energia do liofilizador (28,84 kWh)	3,47€	Custo de energia
Trituração	Triturador (1 peça)	50€	Custo de material
	Energia do triturador (0,112 kWh)	0,002€	Custo de energia
Extração Assistida por Ultrassons (UAE)	Extrator (1 peça)	3700€	Custo de material
	Hexano (20 mL)	0,048€	Custo de material
	Metanol (10 mL)	0,030€	Custo de material
	DMSO (10 mL)	0,32€	Custo de material
	Energia do extrator (0,09375 kWh)	0,002€	Custo de energia
Re-extração	Extrator (1 peça)	3700€	Custo de material
	Hexano (40 mL)	0,096€	Custo de material
	Energia do extrator (0,09375 kWh)	0,002€	Custo de energia
Centrifugação	Centrifugadora (1 peça)	720€	Custo de material
	Energia da centrifugadora (0,117 kWh)	0,0173€	Custo de energia
Filtração	Filtro de nylon (2,69 g)	0,36€	Custo de material
Evaporação	Evaporador (1 peça)	6000€	Custo de material
	Energia do evaporador (0,700 kWh)	0,014€	Custo de energia
Lavagem DMSO	Evaporador (1 peça)	6000€	Custo de material
	Acetato de etilo (20 mL)	0,138€	Custo de material
	Energia do evaporador (0,350 kWh)	0,007€	Custo de energia

Na ausência de informação adicional, é impossível atingir o objetivo proposto.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- 6.1 CONCLUSÕES DA ACV
- 6.2 PRINCIPAIS LIMITAÇÕES
- 6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste capítulo apresentam-se as conclusões mais significativas do estudo efetuado nesta dissertação, incluindo as principais limitações encontradas. Por último, são exibidas sugestões para trabalhos futuros.

Os aditivos alimentares embora sejam elementos de pequena expressão, em termos mássicos, nos produtos, podem ter um impacto realmente significativo. Acresce que, existem poucos estudos científicos sobre a ecoeficiência no sector dos aditivos alimentares. Importa, desta forma, o contributo científico do presente estudo para a caracterização ambiental e económica da produção de aditivos alimentares.

O presente estudo incidiu na análise da caracterização de potenciais impactes ambientais dos novos aditivos alimentares de origem natural em desenvolvimento no projeto mobilizador Valor Natural, tendo o propósito de selecionar apenas os aditivos com maior potencial e estado de desenvolvimento mais avançados. Para isso foi recolhida informação junto dos parceiros para a identificação e caracterização dos sistemas em estudo mediante o envio de um questionário (Anexos) e de reuniões de projeto. Os aditivos foram selecionados pelos respetivos parceiros de acordo com o TRL mais elevado. No caso dos bioativos naturais, foi selecionado o extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente ergosterol, e o extrato enriquecido em vitamina D2. Os corantes naturais identificados com maior potencial de aplicação foram os extratos corantes à base de *Hibiscus sabdariffa* L., de *Sambucus nigra* L. e de *Gomphrena globosa* L. No entanto, não foi possível efetuar a análise destes extratos, uma vez que, os dados laboratoriais relativos aos mesmos não foram disponibilizados atempadamente para realizar os objetivos desta dissertação.

O estudo focou-se na ACV para efetuar o estudo da caracterização do desempenho ambiental de novos aditivos naturais e os seus sistemas produtivos laboratoriais. Procedeu-se à avaliação do ciclo de vida dos aditivos, definindo os fluxos de entrada e saída da matéria-prima e energia, desde o transporte até à produção do aditivo alimentar. Calcularam-se os impactes ambientais em oito categorias, relativos a todos os processos relacionados com a produção dos extratos, com base nos métodos CML 2001 e ReCiPe 2016.

A utilização da metodologia MFCA tinha o intuito de complementar esta avaliação com uma análise económica. O MFCA traça e avalia os fluxos de materiais com o objetivo de aumentar a produtividade dos recursos e resolver os problemas de desperdício.

Consequentemente, leva à redução da procura de recursos, reduzindo simultaneamente o impacto ambiental e os custos.

6.1 Conclusões da ACV

Os resultados de Avaliação do Ciclo de Vida dos extratos foram obtidos de acordo com o objetivo e o âmbito previamente definidos. Sendo que a análise incide numa produção laboratorial num nível TRL 2-3, isto é, uma produção que ainda está numa fase experimental, pode ter um elevado impacto ambiental devido a características de desempenho como o consumo energético. Consequentemente, os impactos foram apresentados sob a forma de percentagem para identificar pontos críticos, e para uma análise mais global foram apresentados os resultados absolutos totais de cada processo. De salientar, que o processo de extração da matéria-prima não faz parte do sistema, pelo que, para esta análise só se contabilizou o cenário de transporte e o cenário de produção do extrato. Ao analisar os resultados, os fluxos que mais contribuem para os impactos do ciclo de vida gerados nas categorias selecionadas são o processo de liofilização e o transporte da matéria-prima para ambas as produções.

De modo a mitigar estes impactos, propõe-se algumas medidas como: utilização de biocombustíveis ou utilização de energia elétrica para reduzir o impacto do consumo de diesel na fase de transporte; utilização de metodologias de produção alternativas que acarretem menor impacto para o meio ambiente; maior utilização de energias renováveis que conduzem a um menor impacto no consumo energético.

Em ambos os extratos, foi efetuada uma análise dos dados obtidos no *software* utilizado e, verificou-se que nem todos os processos relacionados com a produção dos extratos apresentaram impacto significativo para o meio ambiente. Assim sendo, realizou-se uma seleção dos processos mais impactantes em cada uma das categorias selecionadas.

6.1.1 Extrato enriquecido em micosteróis

Quanto à produção de extrato enriquecido em micosteróis, o processo de liofilização apresentou impactos mais elevados do que os restantes processos em todas as categorias de impacto ambiental, no entanto, o transporte de matéria-prima, embora que em menor percentagem, também revelou ter uma contribuição com significância nas categorias de impacto escolhidas. No que diz respeito à liofilização, este processo gera a maioria dos impactos em todas as categorias de impacto selecionadas. Estes impactos devem-se maioritariamente ao consumo de energia por parte do liofilizador. Estes impactos negativos associados ao consumo de energia provêm, maioritariamente, da produção de energia com base no carvão. Este fluxo está relacionado com o mercado de produção da Europa, onde tem impacto no tratamento de despoejamento usado a partir de atividades de extração do carvão. Também provêm da produção de energia a partir da cogeração de petróleo, bem como da energia a partir de gás natural e da energia importada de Espanha, que também está relacionada com a geração de energia com base no carvão. Com isto, se for utilizada energia de fontes renováveis, produzida

localmente consegue-se reduzir os impactes associados ao consumo de energia. Em relação ao transporte, os impactes devem-se ao facto de o camião consumir diesel para efetuar o transporte, que traz consequências para a maior parte das categorias selecionadas. Uma possibilidade para reduzir estes impactes, seria substituir o diesel por biocombustível ou por energia elétrica.

6.1.2 Extrato enriquecido em Vitamina D2

Quanto à produção de extrato enriquecido em Vitamina D2, também o processo de liofilização mostrou ser o processo que mais impactes gera nas categorias de impacto selecionadas. Contudo, o transporte de matéria-prima, embora que em menor percentagem, também apresentou algumas contribuições nas categorias de impacto escolhidas. Os impactes gerados no processo de liofilização devem-se sobretudo ao consumo de energia por parte do liofilizador. O consumo de energia, tal como no extrato enriquecido em micosteróis resulta, maioritariamente, da geração de energia com base no carvão, com geração de energia a partir de gás natural e da cogeração de petróleo e resulta, também, das importações da energia de Espanha. No que diz respeito, ao transporte da matéria-prima, a totalidade de impactes nas categorias selecionadas é a mesma que no extrato enriquecido em micosteróis, uma vez que, a matéria-prima utilizada em ambas as produções são os biorresíduos de cogumelos.

Comparando as análises, a produção de extrato enriquecido em Vitamina D2 revela alguns valores mais altos em relação à produção de extrato enriquecido em micosteróis. Isto pode dever-se ao facto de, no caso da produção de extrato enriquecido em Vitamina D2 os biorresíduos de cogumelos serem submetidos a mais processos para obter o produto final e, também pelo facto de que para obter 1g deste extrato ser necessário processar uma maior quantidade de matéria-prima, logo implica um maior consumo energético.

6.2 Principais limitações

Inicialmente, o objetivo desta dissertação era aplicar as metodologias de ACV e de MFCA na produção de extratos à base de produtos naturais. No entanto, não foi possível atingir alguns dos objetivos propostos devido à falta de dados e da qualidade dos mesmos. Assim, não foi possível efetuar a ACV dos corantes naturais pela falta de dados físicos acerca das quantidades de material e energia inerentes a cada um dos processos envolvidos nesta produção.

Além da falta de dados de inventário, outra das principais limitações deste estudo foi o facto da produção da matéria-prima, tanto no extrato enriquecido em micosteróis, como no extrato enriquecido em Vitamina D2, ter sido excluída da fronteira do sistema. Isto deveu-se ao facto de não estarem disponíveis informações acerca destas produções o que, possivelmente, prejudicou a Avaliação do Ciclo de Vida, pois não foram avaliados os impactes relacionados com a produção da matéria-prima.

Uma vez que, as produções destes extratos se encontram num TRL 2-3, os dados utilizados nesta avaliação não são totalmente precisos, pelo que pode haver uma grande incerteza, mesmo sendo utilizados dados primários, tal facto poderia ser analisado usando o método de Monte Carlo.

Quanto à metodologia de *Material Flow Cost Accounting* não foi possível aplicá-la a nenhuma das produções dos extratos, uma vez que, não foram fornecidos dados suficientes pelos parceiros para concretizar esta avaliação.

6.3 Sugestões para trabalhos futuros

Para obter dados exatos e precisos de ambos os extratos e corantes será necessário fazer uma repetição das experiências. Isto permitirá contabilizar todos os materiais que entram e que saem em cada um dos processos existentes na produção destes aditivos, contabilizar as emissões sólidas, líquidas e gasosas existentes em cada uma das etapas. No entanto, tal apenas será conveniente quanto todo o processo tiver sido otimizado. Assim, será possível obter dados completos e efetuar uma avaliação mais consolidada.

Para uma análise mais sólida, é necessário incluir na fronteira do sistema a produção da matéria-prima utilizada para a obtenção dos aditivos. Tal como todos os processos agrícolas, também estas produções trariam algum impacto para o meio ambiente, uma vez que existe consumo de água, consumo de certos fertilizantes, entre outros, pelo que seria interessante obter dados relativamente a estas produções para obter uma avaliação ambiental mais coesa.

Para realizar a metodologia de MFCA, seria também interessante voltar a efetuar as experiências e recolher toda a informação possível acerca dos custos que a produção destes aditivos acarreta. Todos os custos relacionados com estas produções devem ser recolhidos, desde os custos materiais aos custos relacionados com as emissões relativas a cada um dos processos realizados. Deste modo, pretende-se observar em que parte da produção existem mais custos em termos de perdas de materiais e desperdícios e, assim, melhorar significativamente para reduzir perdas e desperdícios.

Para uma análise mais detalhada, o estudo pode ser complementado com avaliação de ecoeficiência dos processos. A ecoeficiência é um conceito inovador que visa traduzir a relação entre o benefício-económico, de determinada atividade ou processo de produção e os impactes associados, sendo que está ligada ao desenvolvimento sustentável. É um complemento fundamental para a gestão equilibrada dos recursos naturais, na medida em que permite a quantificação, através de indicadores de ecoeficiência, dos valores económicos e ambientais envolvidos em determinada atividade. A ecoeficiência permite estudar alternativas economicamente rentáveis e que reduzam o consumo dos recursos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Gil, M. H. Andrade, and M. do C. Costa, “Os TRL como ferramenta na avaliação tecnológica.,” *Revista Ingenium*. pp. 94–96, 2014.
- [2] M. Carcho, P. Morales, and I. C. F. R. Ferreira, “Natural food additives: Quo vadis?,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 45, no. 2, pp. 284–295, 2015, doi: 10.1016/j.tifs.2015.06.007.
- [3] M. Carcho, M. F. Barreiro, P. Morales, and I. C. F. R. Ferreira, “Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 13, no. 4, pp. 377–399, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12065.
- [4] N. Martins, C. L. Roriz, P. Morales, L. Barros, and I. C. F. R. Ferreira, “Food colorants: Challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 52, pp. 1–15, 2016, doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.009.
- [5] “Fabricantes do M&Ms deixará de usar corantes artificiais em seus produtos,” 2016. <https://administradores.com.br/noticias/fabricante-do-mms-deixara-de-usar-corantes-artificiais-em-seus-produtos> (accessed Dec. 12, 2019).
- [6] K. Salomão, “Chocolates da Nestlé serão mais naturais nos EUA,” 2015. <https://exame.com/negocios/chocolates-da-nestle-serao-mais-naturais-nos-eua/> (accessed Dec. 12, 2019).
- [7] “Coca e Pepsi alteram receita para evitar alerta cancerígeno,” 2012. dn.pt/ciencia/saude/coca-e-pepsi-alteram-receita-para-evitar-alerta-cancerigeno-2351059.html (accessed Dec. 12, 2019).
- [8] “Comerciantes de bacalhau dizem ‘não’ aos aditivos,” 2013. <https://www.noticiasominuto.com/economia/49048/comerciantes-de-bacalhau-dizem-nao-aos-aditivos> (accessed Dec. 12, 2019).
- [9] A. B. Ferreira, “Carne picada a granel tem conservantes perigosos,” 2013. <https://www.dn.pt/portugal/carne-picada-a-granel-tem-conservantes-perigosos-3067652.html> (accessed Dec. 12, 2019).
- [10] M. R. Corbo, A. Bevilacqua, L. Petruzzi, F. P. Casanova, and M. Sinigaglia, “Functional Beverages: The Emerging Side of Functional Foods: Commercial Trends, Research, and Health Implications,” *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 13, no. 6, pp. 1192–1206, 2014, doi: 10.1111/1541-4337.12109.

- [11] A. Annunziata and R. Vecchio, "Functional foods development in the European market: A consumer perspective," *J. Funct. Foods*, vol. 3, no. 3, pp. 223–228, 2011, doi: 10.1016/j.jff.2011.03.011.
- [12] D. Granato, G. F. Branco, F. Nazzaro, A. G. Cruz, and J. A. F. Faria, "Functional foods and nondairy probiotic food development: Trends, concepts, and products," *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 9, no. 3, pp. 292–302, 2010, doi: 10.1111/j.1541-4337.2010.00110.x.
- [13] Edilson Pires, M. Ferreira, R. Vieira, C. Barbosa, and F. Santos, "Perfil dos Documentos De Patente Referentes a Tecnologias e Produtos Probióticos, Prebióticos e Simbióticos na América Latina," *J. Chem. Inf. Model.*, pp. 142–149, 2015, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [14] "Aditivos alimentares e efeitos na saúde," 2013. <https://atarde.uol.com.br/saude/noticias/1551687-aditivos-alimentares-e-efeitos-na-saude> (accessed Dec. 13, 2019).
- [15] A. C. Forte, F. Dourado, M. Gama, and E. Ferreira, "Life Cycle Assessment (Cradle-To-Gate) of Bacterial Cellulose Production," pp. 343–344.
- [16] "GaBi Pro." <http://www.gabi-software.com/databases/> (accessed Oct. 26, 2020).
- [17] S. Smetana, E. Schmitt, and A. Mathys, "Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 144, no. August 2018, pp. 285–296, 2019, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.01.042.
- [18] P. Pérez-López, S. González-García, R. G. Ulloa, J. Sineiro, G. Feijoo, and M. T. Moreira, "Life cycle assessment of the production of bioactive compounds from *Tetraselmis suecica* at pilot scale," *J. Clean. Prod.*, vol. 64, pp. 323–331, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2013.07.028.
- [19] D. E. A. Tedesco, C. Conti, D. Lovarelli, E. Biazzi, and J. Bacenetti, "Bioconversion of fruit and vegetable waste into earthworms as a new protein source: The environmental impact of earthworm meal production," *Sci. Total Environ.*, vol. 683, pp. 690–698, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.226.
- [20] P. Vauchel *et al.*, "Comparative LCA of ultrasound-assisted extraction of polyphenols from chicory grounds under different operational conditions," *J. Clean. Prod.*, vol. 196, pp. 1116–1123, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.06.042.
- [21] I. Rodríguez-Meizoso, M. Castro-Puyana, P. Börjesson, J. A. Mendiola, C. Turner, and E. Ibáñez, "Life cycle assessment of green pilot-scale extraction processes to obtain potent antioxidants from rosemary leaves," *J. Supercrit. Fluids*, vol. 72, pp. 205–212, 2012, doi: 10.1016/j.supflu.2012.09.005.
- [22] M. B. Fakoya and H. M. Van Der Poll, "Integrating ERP and MFCA systems for improved waste-reduction decisions in a brewery in South Africa," *J. Clean. Prod.*, vol. 40, pp. 136–140, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.09.013.

- [23] K. L. Christ and R. Burritt, "Material flow cost accounting for food waste in the restaurant industry," *Br. Food J.*, vol. 119, no. 3, pp. 600–612, 2017, doi: 10.1108/BFJ-07-2016-0318.
- [24] NP EN ISO 14040:2006, "Gestão ambiental/Avaliação do ciclo de vida/Princípios e enquadramento.," *Norma Port.*, vol. 2005, p. 29, 2006.
- [25] J. Rosa and A. Gouveia, "Ecodesign de um apoio de braço para automóvel produzido na CIE Plasfil : uma abordagem de Ciclo de Vida."
- [26] IPQ, "NP EN ISO 14044:2010 - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação," 2010.
- [27] "www.consequential-lca.org, Why and when- Consequential LCA, (2020)."
<https://consequential-lca.org/clca/why-and-when/> (accessed Oct. 15, 2020).
- [28] R. Mateus and L. Bragança, "Avaliação da construção sustentável : propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis," 2009.
- [29] J. Ribeiro, "Sustentabilidade dos produtos de construção-aplicação da análise do ciclo de vida a um perfil de alumínio," pp. 1–83, 2012.
- [30] D. W. Pennington *et al.*, "Life cycle assessment Part 2: Current impact assessment practice," *Environ. Int.*, vol. 30, no. 5, pp. 721–739, 2004, doi: 10.1016/j.envint.2003.12.009.
- [31] M. Huijbregts *et al.*, "ReCiPe 2016. Natl. Inst. Public Heal. Environ, 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1246-y."
- [32] J. M. dos S. Furtado, "Comparação de Métodos e Ferramentas de Análise de Impacto de Ciclo de Vida, aplicados a processos químicos alternativos," p. 87, 2014, [Online]. Available: [https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146463140/Dissertacao Jose Furtado 63596.pdf](https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146463140/Dissertacao%20Jose%20Furtado%2063596.pdf).
- [33] ILCD, *ILCD Handbook - General Guide on LCA - Detailed guidance*. 2010.
- [34] B. Wagner, "A report on the origins of Material Flow Cost Accounting (MFCA) research activities," *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 1255–1261, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.020.
- [35] K. L. Christ and R. L. Burritt, "Material flow cost accounting: A review and agenda for future research," *J. Clean. Prod.*, vol. 108, pp. 1378–1389, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.09.005.
- [36] R. Sygulla, A. Bierer, and U. Gotze, "Material Flow Cost Accounting: A Tool for Designing Economically and Ecologically Sustainable Production Processes," 2014.
- [37] K. Kokubu and Hiroshi Tachikawa, "Material Flow Cost Accounting: Significance and Practical Approach," *Handb. Sustain. Eng.*, pp. 351–369, 2013, doi: 10.1007/978-1-4020-8939-8.

- [38] N. E. I. 14051:2011, "Environmental Management - Material Flow Cost Accounting - General Framework," 2011.
- [39] A. Bierer and U. Götze, "Energy Cost Accounting: Conventional and Flow-oriented Approaches," *J. Compet.*, vol. 4, no. 2, pp. 128–144, 2012, doi: 10.7441/joc.2012.02.09.
- [40] M. Nakajima, "The New Management Accounting Field Established by Material Flow Cost Accounting (MFCA)," 2006.
- [41] Bradford Goldense, "Technology Readiness Levels Are Widely Adopted," 2017. <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21835443/technology-readiness-levels-are-widely-adopted> (accessed Oct. 15, 2020).
- [42] APREN, "Balço da Produção de Eletricidade de Portugal Continental (agosto de 2020)," 2020. <https://www.apren.pt/pt/energias-renovaveis/producao> (accessed Sep. 14, 2020).
- [43] DGEG, "Produção anual e potência instalada," 2019. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/estatistica/energia/eletricidade/producao-anual-e-potencia-instalada/> (accessed Sep. 14, 2020).
- [44] RIVM, "ReCiPe 2016 v1.1," p. 201, 2017, [Online]. Available: www.rivm.nl/en.
- [45] N. Jungbluth, "Description of life cycle impact assessment methods," *ESU-services Ltd*, p. 39, 2020, [Online]. Available: <http://esu-services.ch/address/tender/>.

ANEXOS

- A1. QUESTIONÁRIO ENVIADO
- A2. RESPOSTAS DOS PARCEIROS

ANEXOS

A1. Questionário Enviado

Questionário sobre ingredientes em desenvolvimento no Projeto Valor Natural
para Tarefas de Avaliação de sustentabilidade e Ecoeficiência

A ser preenchido por parceiros dos PPSs 3/4/5:

PPS3. Corantes naturais

PPS4. Aromas naturais e modelos de aromas

PPS5. Bioativos naturais

PPS6. Inovação em Processos de Extração, Refinação e Técnicas de Conservação

Objetivo: Obter informação técnica junto dos parceiros para fundamentar a seleção de casos de estudo para as Tarefas de Avaliação de Sustentabilidade e Ecoeficiência (T8.4.3 a T8.4.5) a cargo do ISQ e INEGI.

1. Identifique os ingredientes em desenvolvimento e o seu objetivo.
 - Ordene-os, colocando em primeiro o que considera mais promissor, melhor documentado e/ou com um TRL mais elevado, e por último o que considera em estado mais preliminar e pior documentado. Justifique sumariamente.
2. Para cada ingrediente (aroma/corante/bioativo) descreva o seu processo de produção (piloto) identificando matérias primas, equipamentos associados, consumos de energia e coprodutos.
 - Matéria-prima (identifique se é utilizado um biorresíduo);
 - Processo de extração (equipamento utilizável, consumo energético, principais consumíveis);
 - Processo de refinação (equipamento utilizável, consumo energético, principais consumíveis);
 - Coprodutos (identificação de produtos secundários de valor acrescentado)
 - Resíduos resultantes do processo.
3. Para cada ingrediente, identifique se algum dos equipamentos alternativos inovadores (do PPS6) poderão ser utilizados no processo. Se sim, indique:
 - Que equipamento;
 - Em que operação;
 - Se este substitui equipamentos convencionais, especifique quais;
 - O potencial benefício do novo equipamento face ao convencional.
4. Para cada ingrediente, identifique se ele substitui um ingrediente convencional existente no mercado. Se sim, identifique o item a ser substituído e o seu processo convencional de produção.
5. Para cada ingrediente, identifique em que unidade o ingrediente é medido (e.g: ml; kg; ou outra).
6. Para os ingredientes a selecionar como caso de estudo, será necessário recolher dados quantitativos mais detalhados de inventário.
Para cada processo produtivo, é necessário identificar e quantificar:
 - os "inputs" (energia e todos os recursos);
 - os "outputs" (produtos, coprodutos, emissões, resíduos);
 - custos fixos e variáveis associados (materiais, consumíveis, energia, mão de obra, investimentos e imobilizados);
 - volume de produção;
 - valor de venda.

7. Para cada ingrediente, indicar o contacto técnico preferencial (investigador ou responsável pela investigação) para pedido de informação adicional ou esclarecimento de dúvidas.

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo):

Fase do Processo de Produção:

Tabela 18 - Lista de inventário (por ingrediente).

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
A	1	kg	Descrição da origem
B	100	ml	Descrição
Consumíveis:			
C	10	ml	Fornecedor xpto
D	0,05	kg	Ficha técnica abc
Energia:			
Eletricidade (equipamento A)	50	kWh	
Gás natural	1	m ³	
Produtos			
A1	1	kg	Descrição da origem
A2	0,1	kg	Descrição
Emissões:			

Resíduos:

Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
A	25€	2 kg	
B	100€	100 mL	
Consumíveis			
C	70€	100 mL	
D	50€	1 kg	
Energia			
Eletricidade	0.20€	kWh	
Equipamentos			
Equipamento A	80000€	Aquisição	Vida útil estimada (20 anos)

NOTA: substituir entradas exemplificativas por dados relativos ao ingrediente e processo em causa.

A2. Resposta dos parceiros

Corantes Naturais

Objetivo: Obter informação técnica junto dos parceiros para fundamentar a seleção de casos de estudo para as Tarefas de Avaliação de Sustentabilidade e Ecoeficiência (T8.4.3 a T8.4.5) a cargo do ISQ e INEGI.

- 1. Identifique os ingredientes em desenvolvimento e o seu objetivo.**
 - **Ordene-os, colocando em primeiro o que considera mais promissor, melhor documentado e/ou com um TRL mais elevado, e por último o que considera em estado mais preliminar e pior documentado. Justifique sumariamente.**
 - i. Extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L., rico em delfinidina-3-O-sambubiósido: o objetivo deste ingrediente é atuar como agente corante, podendo ser incorporado em matrizes alimentares.
 - ii. Extrato corante à base de *Sambucus nigra* L., rico em cianidina-3-O-sambubiósido: o objetivo deste ingrediente é atuar como agente corante, podendo ser incorporado em matrizes alimentares.
 - iii. Extrato corante à base de *Gomphrena globosa* L. rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III: o objetivo deste ingrediente é atuar como agente corante, podendo ser incorporado em matrizes alimentares.
 - iv. Extrato corante à base de *Curcuma longa* L. rico em curcuminóides: o objetivo deste ingrediente é atuar como agente corante, podendo ser incorporado em matrizes alimentares.
- 2. Para cada ingrediente (aroma/corante/bioativo) descreva o seu processo de produção (piloto) identificando matérias primas, equipamentos associados, consumos de energia e coprodutos.**
 - i. **Extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L. rico em delfinidina-3-O-sambubiósido:**
 - A. Matéria-prima: são utilizados cálices da planta *H. sabdariffa*.
 - B. Processo de produção: estas amostras são congeladas, liofilizadas e reduzidas a pó. De seguida são extraídos através de maceração, a fração corante, usando como solvente uma mistura de etanol/água (80:20, v/v). Após a extração a fração etanólica da mistura foi evaporada recorrendo-se a um evaporador rotativo (Büchi R-210, Flawil, Suíça) (60 °C, pressão reduzida) e a fração aquosa foi imediatamente congelada e transformada em pó pela técnica de Spray-drying usando maltodextrina (20%), como material encapsulante.
 - C. Equipamentos associados: congelador, placa de agitação, evaporador rotativo e spray-drying.
 - D. Consumo de energia: Congelador – 1 dia (0,885 kW/h), triturador - 5 min (0,112 kW/h), evaporador rotativo – 30 minutos (0,7 kW/h), Spray-drying (5 kW/h), placa – 2 horas (0,04 kW/h).
 - E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
 - F. Resíduos: resíduo sólido (sem a fração corante) resultante da extração.
 - ii. **Extrato corante à base de *Sambucus nigra* L. rico em cianidina-3-O-sambubiósido:**
 - A. Matéria-prima: são utilizados resíduos de frutos de *S. nigra*.
 - B. Processo de produção: estas amostras são congeladas, liofilizadas e reduzidas a pó. De seguida são extraídos através de maceração, a fração corante, usando como solvente água (100%). Após a extração o sobrenadante foi

imediatamente congelado e transformado em pó pela técnica de Spray-drying usando maltodextrina (20%), como material encapsulante.

- C. Equipamentos associados: congelador, Spray-drying, placa de agitação.
- D. Consumo de energia: Congelador – 1 dia (0,885 kW/h), triturador - 5 min (0,112 kW/h), Spray-drying (5 kW/h), placa – 2 horas (0,04 kW/h).
- E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
- F. Resíduos: resíduo sólido (sem a fração corante) resultante da extração.

iii. Extrato corante à base de *Gomphrena globosa* L. rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III.

- A. Matéria-prima: são utilizadas as inflorescências de *G. globosa*.
- B. Processo de produção: reduzidas a pó para posterior análise. De seguida são extraídas através de maceração, usando como solvente água (100%). Após a extração o sobrenadante foi imediatamente congelado e transformado em pó pela técnica de Spray-drying usando maltodextrina (20%), como material encapsulante.
- C. Equipamentos associados: congelador, placa de agitação, Spray-drying.
- D. Consumo de energia: Congelador – 1 dia (0,885 kW/h), triturador - 5 min (0,112 kW/h), Spray-drying (5 kW/h), placa – 2 horas (0,04 kW/h).
- E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
- F. Resíduos: resíduo sólido (sem a fração corante) resultante da extração.

iv. Extrato corante à base de *Curcuma longa* L. rico em curcuminóides.

- A. Matéria-prima: é utilizado a amostra em pó obtida comercialmente.
- B. Processo de produção: em curso (não podendo estimar todos os equipamentos intervenientes no processo nem os gastos de tempo e energia).
- C. Equipamentos associados: Sistema de ultrassons e spray-drying.
- D. Consumo de energia: Ainda não é possível determinar.
- E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
- F. Resíduos: resíduo sólido (sem a fração corante) resultante da extração.

3. Para cada ingrediente, identifique se algum dos equipamentos alternativos inovadores (do PPS6) poderão ser utilizados no processo. Se sim, indique:

- Que equipamento;
Não Aplicável
- Em que operação;
Não Aplicável
- Se este substitui equipamentos convencionais, especifique quais;
Não Aplicável
- O potencial benefício do novo equipamento face ao convencional.
Não Aplicável

4. Para cada ingrediente, identifique se ele substitui um ingrediente convencional existente no mercado. Se sim, identifique o item a ser substituído e o seu processo convencional de produção.

- Os extratos corantes obtidos à base de *Hibiscus sabdariffa* L. e à base de *Sambucus nigra* L. acima mencionados representam um potencial substituto ao corante alimentar comercial E163. As antocianinas (E 163) são obtidas por extração com água sulfatada,

água acidificada, dióxido de carbono, metanol ou etanol a partir de vegetais e frutas comestíveis (Regulamento (UE) n.o 231/2012 da Comissão).

- O extrato corante obtido à base de *Gomphrena globosa* L. acima mencionados representam um potencial substituto ao corante alimentar comercial E162. Este corante (vermelho-beterraba, betanina; E163) é obtido pressionando a beterraba triturada como sumo prensado ou por extração aquosa, em conformidade com a definição do Regulamento (UE) n.o 231/2012 da Comissão.
- Extrato corante à base de *Curcuma longa* L. representam um potencial substituto ao corante alimentar comercial curcumina (E100). Segundo JECFA (2006), apenas os seguintes solventes podem ser utilizados na extração e purificação de E100: acetona, metanol, etanol, isopropanol, hexano, acetato de etilo. O dióxido de carbono supercrítico também pode ser usado na extração.

5. Para cada ingrediente, identifique em que unidade o ingrediente é medido (ex.: ml; kg; ou outra).

- µg de antocianinas/g extrato;
- mg de betacianinas/g extrato.

6. Para os ingredientes a selecionar como caso de estudo, será necessário recolher dados quantitativos mais detalhados de inventário. Para cada processo produtivo, é necessário identificar e quantificar:

- os “inputs” (energia e todos os recursos);
- os “outputs” (produtos, coprodutos, emissões, resíduos);
- custos fixos e variáveis associados (materiais, consumíveis, energia, mão de obra, investimentos e imobilizados);
- volume de produção;
- valor de venda.

7. Para cada ingrediente, indicar o contacto técnico preferencial (investigador ou responsável pela investigação) para pedido de informação adicional ou esclarecimento de dúvidas.

- Extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L. rico em delfinidina-3-O-sambubiósido, extrato corante à base de *Sambucus nigra* L. rico em cianidina-3-O-sambubiósido, extrato corantes obtidos à base de *Gomphrena globosa* L. e extrato corante à base de *Curcuma longa* L.:

Investigadores: Lillian Barros – lillian@ipb.pt; Maria Inês Dias – maria.ines@ipb.pt

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): **Extrato corante à base de *Hibiscus sabdariffa* L. rico em delfinidina-3-O-sambubiósido**

Fase do Processo de Produção: TRL3

Tabela 19 - Lista de inventário de *Hibiscus sabdariffa* L.

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
Cálices de <i>H. sabdariffa</i>	0,001	kg	Fornecido pela empresa Pragmático Aroma Lda. (Alfândega da Fé, Portugal)
Consumíveis:			
Etanol	60	mL	Enzymatic
Filtros de Nylon	1		Enzymatic
Maltodextrina	1	kg	
Energia:			
Frigorífico/congelador	0,885	kW/h	
Spray-drying	5	kW/h	
Triturador	0,112	kW/h	
Evaporador rotativo	0,7	kW/h	
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato corante à base de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L. rico em delphinidina-3-O-sambubiósido	7,03	mg/g extrato	Descrição da origem
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente	<0,001	kg	
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
Cálices de <i>H. sabdariffa</i>	0€	2 kg	Fornecido pela empresa Pragmático Aromas Lda. (Alfândega da Fé, Portugal)
Consumíveis:			
Etanol	8,40€	2,5 L	
Filtros de Nylon	3,55€	50 unidades	
Maltodextrina	27,67€	1 kg	
Energia			
Congelação	0,13€		
Spray-drying	0,74€		
Trituração	0,002€		
Extração	0,0059€		
Evaporação	0,014€		
Equipamentos			
Mini Spray Dryer "BUCHI", com Spray nozzle e filtros de entrada e saída (Modelo B-290 Advanced)	37000€		
Triturador (1,2,3 moulinex)	50€	1	
Placa (VELP Scientific, Usmate, Italy)	270€	1	
Frigorífico/congelador (BEKO RDSE450K20W)	430€	z	

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): **Extrato corante à base de *Sambucus nigra* L. rico em cianidina-3-O-sambubiósido.**

Fase do Processo de Produção: TRL3

Tabela 20 – Lista de inventário de *Sambucus nigra* L.

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
Resíduos de <i>S. nigra</i>	0,001	kg	Colheita
Consumíveis:			
Etanol	60	mL	Enzymatic
Filtros de Nylon	1		Enzymatic
Maltodextrina	1	kg	
Energia:			
Frigorífico/congelador	0,885	kW/h	
Spray-drying	5	kW/h	
Triturador	0,112	kW/h	
Evaporador rotativo	0,7	kW/h	
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato corante à base de <i>Hibiscus sabdariffa</i> L. rico em delphinidina-3-O-sambubiósido	7,03	mg/g extrato	Descrição da origem
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente	<0,001	kg	
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
Cálices de <i>H. sabdariffa</i>	0€	2 kg	Fornecido pela empresa Pragmático Aromas Lda. (Alfândega da Fé, Portugal)
Consumíveis:			
Etanol	8,40€	2,5 L	
Filtros de Nylon	3,55€	50 unidades	
Maltodextrina	27,67€	1 kg	
Energia			
Congelação	0,13€		
Spray-drying	0,74€		
Trituração	0,002€		
Extração	0,0059€		
Evaporação	0,014€		
Equipamentos			
Mini Spray Dryer "BUCHI", com Spray nozzle e filtros de entrada e saída (Modelo B-290 Advanced)	37000€		
Triturador (1,2,3 moulinex)	50€	1	
Placa (VELP Scientific, Usmate, Italy)	270€	1	
Frigorífico/congelador (BEKO RDSE450K20W)	430€	1	

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): **Extrato corante à base de *Gomphrena globosa* L. rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III**

Fase do Processo de Produção:

Tabela 21 - Lista de inventário de *Gomphrena globosa* L.

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
Inflorescências <i>Gomphrena globosa</i> L.	0,005	kg	Fornecido pela empresa Ervital (Castro Daire, Portugal)
Consumíveis:			
Filtros de Nylon	1		Enzymatic
Maltodextrina	1	kg	
Energia:			
Frigorífico/congelador	0,885	kW/h	
Spray-drying	5	kW/h	
Triturador	0,112	kW/h	
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato corante à base de <i>Gomphrena globosa</i> L. rico em gonfrenina e isogonfrenina II e III	Gonfrenina 2: 8,6 Gonfrenina 3: 17,9 Isogonfrenina II: 6,9 Isogonfrenina III: 13,5	mg/g extrato	
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente	<0,005	kg	
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
Inflorescências <i>Gomphrena globosa</i> L.	25€	2 kg	Fornecido pela empresa Ervital (Castro Daire, Portugal)
Consumíveis:			
Filtros de Nylon	3,55€	50 unidades	
Maltodextrina	27,67€	1 kg	
Energia			
Congelação	0,13€		
Spray-drying	0,74€		
Trituração	0,002€		
Extração	0,0059€		
Custos	Custo (€)	Quantidade/Unidade	Notas
Equipamentos			
Mini Spray Dryer "BUCHI", com Spray nozzle e filtros de entrada e saída (Modelo B-290 Advanced)	37000€		
Triturador (1,2,3 moulinex)	50€	1	
Placa (VELP Scientific, Usmate, Italy)	270€	1	
Frigorífico/congelador (BEKO RDSE450K20W)	430€	1	

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): Extrato corante à base de *Curcuma longa L.* rico em curcuminóides.

Fase do Processo de Produção: A falta de dados na seguinte tabela é justificada pelo facto deste processo ainda se encontrar em curso, não sendo possível saber exatamente todos os equipamentos, solventes, gastos monetários e energéticos necessários para o processo. Será completa assim que o processo for concluído.

Tabela 22 - Lista de inventário de *Curcuma longa L.*

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
<i>Curcuma longa L.</i> em pó	0,050	kg	Pingo Doce (Bragança, Portugal)
Consumíveis:			
A definir			
Energia:			
A definir			
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato corante à base de curcuminóides.	A definir		
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente			
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
<i>Curcuma longa L.</i> em pó	3€	50 g	Pingo Doce (Bragança, Portugal)
Consumíveis:			
A definir			
Energia			
A definir			
Custos	Custo (€)	Quantidade/Unidade	Notas
Equipamentos			
A definir			

Bioativos naturais

Objetivo: Obter informação técnica junto dos parceiros para fundamentar a seleção de casos de estudo para as Tarefas de Avaliação de Sustentabilidade e Ecoeficiência (T8.4.3 a T8.4.5) a cargo do ISQ e INEGI.

1. **Identifique os ingredientes em desenvolvimento e o seu objetivo.**
 - **Ordene-os, colocando em primeiro o que considera mais promissor, melhor documentado e/ou com um TRL mais elevado, e por último o que considera em estado mais preliminar e pior documentado. Justifique sumariamente.**
 - i. Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente ergosterol: o objetivo deste ingrediente é atuar como agente hipocolesterolémico podendo ser incorporado em alimentos de cariz lipofílico como o queijo, devido à

solubilidade facilitada do ingrediente neste meio. Pode também ser incorporado em matrizes hidrofílicas após encapsulação de modo a facilitar a sua solubilidade em meio aquoso.

- ii. Extrato enriquecido em Vitamina D2 (o ergosterol pode ser convertido em ergocalciferol (vitamina D2) através da luz Ultravioleta) por conseguinte será extraída e incorporada em farinha para produtos de panificação e pastelaria.

2. Para cada ingrediente (aroma/corante/bioativo) descreva o seu processo de produção (piloto) identificando matérias primas, equipamentos associados, consumos de energia e coprodutos.

i. Extrato enriquecido em micosteróis:

- A. Matéria-prima: são utilizados bio resíduos da indústria produtora de cogumelos sem qualquer valor económico.
- B. Processo de produção: estes resíduos são liofilizados e reduzidos a pó. De seguida, são extraídos com etanol no equipamento de extração assistida por ultrassons. Após a sua extração a amostra é filtrada e o solvente é evaporado até à secura.
- C. Equipamentos associados: liofilizador, triturador, extrator por ultrassons, evaporador rotativo.
- D. Consumo de energia: liofilizador – 2 dias (96 kW/h), triturador – 5 minutos (0,112 kW/h), ultrassons – 15 minutos (0,09375 kW/h), evaporador rotativo – 30 minutos (0,7 kW/h).
- E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
- F. Resíduos: resíduo sólido resultante da extração.

ii. Extrato enriquecido em Vitamina D2:

- A. Matéria-prima: para a produção de bioativos naturais, propõe-se seleccionar as diferentes matérias-primas com vista à obtenção de ingredientes ricos em micosteróis, especialmente ergosterol e vitamina D2 (ergocalciferol) (ex.: bio resíduos de *Agaricus bisporus*).
- B. Processo de produção: o ingrediente bioativo rico em vitamina D2 será obtido recorrendo à técnica de irradiação ultravioleta (câmara de irradiação ultravioleta), para conversão do ergosterol em vitamina D2 (intensidade de exposição e tempo otimizado). Após a irradiação é necessário congelar e liofilizar os biorresíduos. Trituram-se e procede-se à extração da vitamina D2 por extração assistida por ultrassons com hexano.
- C. Equipamentos associados: liofilizador, triturador, extrator por ultrassons, evaporador rotativo.
- D. Consumo de energia: liofilizador – 2 dias (96 kW/h), triturador – 5 minutos (0,112 kW/h), ultrassons – 30 minutos (0,09375 kW/h), evaporador rotativo – 30 minutos (0,7 kW/h), câmara de irradiação (0,125 kW/h).
- E. Coprodutos: não se produzem coprodutos de valor acrescentado.
- F. Resíduos: resíduo sólido resultante da extração.

3. Para cada ingrediente, identifique se algum dos equipamentos alternativos inovadores (do PPS6) poderão ser utilizados no processo. Se sim, indique:

- Que equipamento;

- Sistema de extração por fluido supercrítico (SFE-CO₂);
Sistema de refinação líquido-líquido com base na tecnologia NETmix .
- Em que operação;
Obtenção de extratos enriquecidos em Vitamina D2 e extratos enriquecidos em micosteróis
 - Se este substitui equipamentos convencionais, especifique quais;
Ultrassons
 - O potencial benefício do novo equipamento face ao convencional.
A extração assistida por ultrassons revela-se mais dispendiosa. A extração SFE-CO₂ e refinação líquido-líquido (usando CO₂) com base na tecnologia NETmix representa uma alternativa com vantagens significativas: o CO₂ tem custos baixos, não é combustível e não explosivo; os produtos extraídos mantêm as suas propriedades; tanto os produtos como eventuais resíduos não são contaminados com solventes; possibilitando a extração seletiva e fracionada.
- 4. Para cada ingrediente, identifique se ele substitui um ingrediente convencional existente no mercado. Se sim, identifique o item a ser substituído e o seu processo convencional de produção.**
- O extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente ergosterol apresenta-se como uma alternativa à utilização de fitoesteróis existentes no mercado como agentes funcionalizantes de iogurtes para efeito hipocolesterolémico. O seu processo de produção está patenteado, no entanto, estes agentes são extraídos de vários tipos de plantas.
- 5. Para cada ingrediente, identifique em que unidade o ingrediente é medido (ex.: ml; kg; ou outra).**
- Vitamina D2: µg /100g;
 - Extrato enriquecido em micosteróis: µg /100g.
- 6. Para os ingredientes a selecionar como caso de estudo, será necessário recolher dados quantitativos mais detalhados de inventário. Para cada processo produtivo, é necessário identificar e quantificar:**
- os “inputs” (energia e todos os recursos);
 - os “outputs” (produtos, coprodutos, emissões, resíduos);
 - custos fixos e variáveis associados (materiais, consumíveis, energia, mão de obra, investimentos e imobilizados);
 - volume de produção;
 - valor de venda.
- 7. Para cada ingrediente, indicar o contacto técnico preferencial (investigador ou responsável pela investigação) para pedido de informação adicional ou esclarecimento de dúvidas.**
- Extrato enriquecido em Vitamina D2: Investigadores: Ângela Fernandes - afeitor@ipb.pt; Lillian Barros: lillian@ipb.pt
 - Extrato enriquecido em micosteróis: Investigadores: Sandrina Heleno - sheleno@ipb.pt; Lillian Barros: lillian@ipb.pt

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): **extrato enriquecido em micosteróis**

Fase do Processo de Produção: TRL3

Tabela 23 - Lista de inventário de extrato enriquecido em micosteróis

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
Bio resíduos da indústria produtora de cogumelos	1	kg	Mogaricus Lda.
Consumíveis:			
Etanol	150	ml	Enzymatic
Filtros de Nylon	1		Enzymatic
Energia:			
Liofilizador	96	kW/h	
Triturador	0,112	kW/h	
Equipamento extrator	0,09375	kW/h	
Evaporador rotativo	0,7	kW/h	
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato enriquecido em micosteróis	350	mg	
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente enriquecido em micosteróis	1	g	
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
Bio resíduos da indústria produtos de cogumelos	0€	2 kg	Fornecido pela empresa Mogaricus Lda.
Consumíveis:			
Etanol	8,40€	2,5 L	
Energia			
Liofilização	1,92€		
Trituração	0,002€		
Extração	0,002€		
Evaporação	0,014€		
Custos	Custo (€)	Quantidade/Unidade	Notas
Equipamentos			
Liofilizador (FreeZone 4.5 model 7750031, Labconco, KS, USA)	25000€	1	
Triturador (1,2,3 moulinex)	50€	1	
Custos	Custo (€)	Quantidade/Unidade	Notas
Evaporador rotativo (rotary evaporator Büchi R-210, Flawil, Switzerland)	6000€	1	
Equipamento ultrassons (Hielscher UIP1500hdT Ultrasonic Homogeneizer)	3700€	1	

Nome do ingrediente (corante/aroma/bioativo): **extrato enriquecido em Vitamina D2**

Fase do Processo de Produção: TRL3

Tabela 24 - Lista de inventário de extrato enriquecido em Vitamina D2

Inputs	Quantidade	Unidade	Notas
Materiais:			
Bio resíduos da indústria produtora de cogumelos	1	kg	Mogaricus Lda.
Consumíveis:			
Hexano P.A.	60	ml	Enzymatic
DMSO P.A.	30	ml	Enzymatic
Metanol P.A.	30	ml	Enzymatic
Filtros de Nylon	1		Enzymatic
Energia:			
Liofilizador	96	kW/h	
Triturador	0,112	kW/h	
Equipamento extrator	0,09375	kW/h	
Evaporador rotativo	0,7	kW/h	
Câmara de irradiação	0,125	kW/h	
Outputs	Quantidade	Unidade	Notas
Produtos			
Extrato enriquecido em micosteróis	150	µg	
Emissões:			
Resíduos:			
Resíduo sólido resultante da extração do ingrediente enriquecido em micosteróis	1	g	
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Materiais:			
Bio resíduos da indústria produtos de cogumelos	0€	50 kg	Mogaricus Lda.
Custos	Custo (€)	Quantidade/unidade	Notas
Consumíveis:			
Metanol P.A.	7,43€	2,5 L	
Hexano P.A.	6€	2,5L	
DMSO P.A.	80,78€	2,5L	
Energia			
Irradiação			
Liofilização	1,92€		
Trituração	0,002€		
Extração	0,002€		
Evaporação	0,014€		
Equipamentos			
Câmara de irradiação (Cabina ultravioleta UVABC) (UV- Consulting Peschl España)	140000€	1	
Liofilizador (FreeZone 4.5 model 7750031, Labconco, KS, USA)	25000€	1	
Triturador (1,2,3 moulinex)	50€	1	
Evaporador rotativo (rotary evaporator Büchi R-210, Flawil, Switzerland)	6000€	1	

Equipamento ultrassons (Hielscher UIP1500hdT Ultrasonic Homogenizer)	3700€	1	
Sistema de extração por fluido supercrítico (SFECO ₂)	n/a	1	Equipamento a desenvolver no âmbito do projeto
Sistema de refinação líquido-líquido com base na tecnologia NETmix	n/a		Equipamento a desenvolver no âmbito do projeto
