

---

**ValorNatural** – Valorização de Recursos Naturais através da Extração de Ingredientes de Elevado Valor Acrescentado para Aplicações na Indústria Alimentar

---

## **Entregável nº 8.4.6**

**Versão do Documento: 1**

**Data de Submissão: 31/08/2020**

**Responsável: ISQ**

**Nome do Documento: Relatório de avaliação ambiental do ciclo de vida**

### **Histórico de Revisão**

<b>Revisão</b>	<b>Data</b>	<b>Parceiros Envolvidos</b>	<b>Descrição</b>

## Programas Mobilizadores

## **Lista de autores**

Bruna Moura

Helena Monteiro

Sara Campos

Sara Pinto

José Atilano

Luís Oliveira

## Sumário

O presente Entregável 8.4.6 – Relatório de avaliação ambiental do ciclo de vida, tem como principal objetivo quantificar os impactos ambientais dos processos extrativos dos ingredientes naturais desenvolvidos no âmbito do projeto Valor Natural®. Estes, foram previamente selecionados pelos parceiros e dizem respeito aos aditivos que se encontram num estado de desenvolvimento mais avançado. Através da aplicação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), de acordo com as normas ISO 14040 e ISO 14044, este estudo permite identificar os pontos críticos do processo extrativo de cada ingrediente em análise. Com esta informação será possível estudar e, possivelmente, implementar medidas de melhoria, de modo a mitigar os impactos ambientais do processo de obtenção dos diferentes produtos. Adicionalmente, este entregável pretende servir de ferramenta de suporte ao *scale up* dos processos para uma escala piloto ou até mesmo industrial.

Durante a avaliação ambiental, foram analisadas várias categorias de impacto (*midpoints*). Os impactos ambientais obtidos para 1g de extrato considerando a categoria de aquecimento global (GW) foram: extratos **corantes** à base de *H. sabdariffa* (7,99 kg de CO<sub>2</sub>-eq), *S. nigra* (0,026 kg de CO<sub>2</sub>-eq), *G. globosa* (13,6 kg de CO<sub>2</sub>-eq), *B. orelana* (234 kg de CO<sub>2</sub>-eq), *C. longa* (122 kg de CO<sub>2</sub>-eq) e *C. longa* encapsulado (0,685 kg de CO<sub>2</sub>-eq); extratos **aromáticos** à base de *R. officinalis* fresco (obtido por SFE – 15,1 kg de CO<sub>2</sub>-eq, HD com aproveitamento do hidrolato – 558 kg de CO<sub>2</sub>-eq e HD sem aproveitamento do hidrolato – 18,4 kg de CO<sub>2</sub>-eq) e *R. officinalis* desidratado (obtido por SFE – 20,0 kg de CO<sub>2</sub>-eq, HD com aproveitamento do hidrolato – 267 kg de CO<sub>2</sub>-eq e HD sem aproveitamento do hidrolato – 8,43 kg de CO<sub>2</sub>-eq); extratos de **bioativos** enriquecidos em micosteróis, nomeadamente Ergosterol (1,67 kg de CO<sub>2</sub>-eq) e Vitamina D<sub>2</sub> (obtido pelos métodos 1 – 2,79 kg de CO<sub>2</sub>-eq e 2 – 16,6 kg de CO<sub>2</sub>-eq). Analisado os resultados obtidos, o estudo permite concluir que a eletricidade é o fator que apresenta maior contribuição para o impacto ambiental dos processos analisados. De um modo geral, os processos unitários mais significativos são os que apresentam um maior consumo energético: *spray-drying*, liofilização e evaporação. Embora seja um processo com elevado consumo energético, a evaporação revela ser uma medida de mitigação dos impactos ambientais causados pela produção e uso dos solventes, permitindo a recuperação dos mesmos.

## Índice

<b>1. Introdução</b>	12
<b>2. Sistema em Análise e Metodologia</b>	13
I. Objetivo e Âmbito em Estudo	14
II. Definição dos Sistemas	14
i. Corantes Naturais	15
ii. Aromas Naturais	20
iii. Bioativos Naturais	21
III. Inventário de Ciclo de Vida	25
<b>3. Avaliação Ambiental</b>	26
IV. Interpretação de Resultados	27
i. Corantes Naturais	27
ii. Aromas Naturais	35
iii. Bioativos Naturais	41
<b>4. Conclusão</b>	47
<b>5. Referências</b>	49
<b>6. Anexos</b>	50
I. Tabelas de Inventário	50
II. Tabelas de resultados	57

**Identificação**

<b>Entregável</b>	8.4.6, Relatório de avaliação ambiental do ciclo de vida
<b>Tipo de entregável</b>	Relatório
<b>Nível de disseminação</b>	Confidencial
<b>PPS</b>	PPS8 – Disseminação de informação e exploração de resultados

## Índice de Tabelas

Tabela 1 - Identificação dos aditivos alimentar de origem natural em estudo. ....	15
Tabela 2 - Categorias de impacte ambiental ( <i>midpoints</i> ) selecionadas .....	27
Tabela 3 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato corante à base de <i>H. sabdariffa</i> ; UF: 1 g de extrato.....	28
Tabela 4 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base de <i>S. nigra</i> ; UF: 1 g de extrato .....	29
Tabela 5 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base <i>G. globosa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	30
Tabela 6 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base <i>B. orellana</i> ; UF: 1 g de extrato .....	32
Tabela 7 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base <i>C. longa</i> ; UF: 1 g de extrato.....	33
Tabela 8 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base <i>C. longa</i> encapsulado; UF: 1 g de extrato .....	34
Tabela 9 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> fresco e desidratado – cenário A; UF: 1 g de extrato.....	36
Tabela 10 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> fresco e desidratado – cenário B; UF: 1 g de extrato .....	37
Tabela 11 – Tabela resumo dos impactes globais observados para cada cenário e para a matéria-prima fresca e desidratada .....	39
Tabela 12 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato.....	41
Tabela 13 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 1); UF: 1 g de extrato .....	43
Tabela 14 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 2); UF: 1 g de extrato.....	44
Tabela 15 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>H. sabdariffa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	50
Tabela 16 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>S. nigra</i> ; UF: 1 g de extrato .....	50

Tabela 17 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>G. globosa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	51
Tabela 18 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>B. orellana</i> ; UF: 1 g de extrato .....	51
Tabela 19 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>C. longa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	52
Tabela 20 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>C. longa</i> encapsulado; UF: 1 g de extrato .....	52
Tabela 21 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco – Cenário A; UF: 1 g de extrato .....	53
Tabela 22 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> desidratado – Cenário A; UF: 1 g de extrato .....	53
Tabela 23 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco – Cenário B; UF: 1 g de extrato.....	53
Tabela 24 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> desidratado – Cenário B; UF: 1 g de extrato .....	53
Tabela 25 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco – Cenário C; UF: 1 g de extrato.....	54
Tabela 26 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de <i>R. officinalis</i> desidratado – Cenário C; UF: 1 g de extrato .....	54
Tabela 27 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato .....	54
Tabela 28 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (cenário 1); UF: 1 g de extrato.....	55
Tabela 29 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (cenário 2); UF: 1 g de extrato.....	56
Tabela 30 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>H. sabdariffa</i> ; UF: 1 g de extrato.....	57
Tabela 31 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>S. nigra</i> ; UF: 1 g de extrato .....	58
Tabela 32 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>G. globosa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	59



Tabela 33 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>B. orellana</i> ; UF: 1 g de extrato .....	60
Tabela 34 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>C. longa</i> ; UF: 1 g de extrato .....	61
Tabela 35 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>C. longa</i> encapsulado; UF: 1 g de extrato .....	62
Tabela 36 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco – SFE-CO <sub>2</sub> ; UF: 1 g de extrato (Cenário A) .....	63
Tabela 37 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>R. officinalis</i> desidratado – SFE-CO <sub>2</sub> ; UF: 1 g de extrato (Cenário A).....	64
Tabela 38 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário B) .....	65
Tabela 39 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>R. officinalis</i> desidratado – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário B) .....	66
Tabela 40 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de <i>R. officinalis</i> fresco e desidratado – HD sem aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário C).....	67
Tabela 41 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – SFE-CO <sub>2</sub> ; UF: 1 g de componente.....	68
Tabela 42 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de componente.....	69
Tabela 43 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – HD sem aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de componente.....	70
Tabela 44 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato.....	71
Tabela 45 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (cenário 1); UF: 1 g de extrato.....	72
Tabela 46 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 2); UF: 1 g de extrato.....	73

## Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>H. sabdariffa</i> .....	16
Figura 2 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>S. nigra</i> .....	17
Figura 3 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>G. globosa</i> .....	17
Figura 4 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>B. orellana</i> .....	18
Figura 5 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>C. longa</i> .....	19
Figura 6 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de <i>C. longa</i> encapsulado .....	19
Figura 7 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> – extração por fluido supercrítico (cenário A).....	20
Figura 8 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> – Hidrodestilação (cenários B e C).....	21
Figura 9 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol .....	22
Figura 10 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 1).....	23
Figura 11 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 2).....	24
Figura 12 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>H. sabdariffa</i> ).....	28
Figura 13 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>S. nigra</i> ).....	29
Figura 14 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>G. globosa</i> ).....	31
Figura 15 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>B. orellana</i> ), com inclusão da liofilização (a) e exclusão (b) .....	32

Figura 16 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>C. longa</i> ), com inclusão da liofilização (a) e exclusão (b).....	33
Figura 17 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de <i>C. longa</i> encapsulado).....	34
Figura 18 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos para os extratos corantes à base de <i>C. longa</i> e de <i>C. longa</i> encapsulado .....	35
Figura 19 - Representação gráfica da contribuição de cada componente para cada categoria de impacte em análise – extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> fresco (a) e desidratado (b) – Cenário A.....	36
Figura 20 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise – extrato aromático à base de <i>R. officinalis</i> fresca (a) e desidratada (b) – Cenário B.....	38
Figura 21 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos no cenário B com os obtidos no cenário C – extrato aromático proveniente da amostra fresca (a) e desidratada (b) .....	39
Figura 22 – Impactes ambientais obtidos para a categoria de GW e fatores de acréscimo de impacte para os diferentes compostos ativos e cenários em análise.....	40
Figura 23 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol)..	42
Figura 24 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise – extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 1).....	43
Figura 25 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise – extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (Cenário 2).....	45
Figura 29 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos nos processos (cenários 1 e 2) – extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> .....	46

## 1. Introdução

A indústria agroalimentar apresenta uma elevada importância na União Europeia (UE) ao nível da empregabilidade e da produção económica. Atualmente, esta indústria tem como propósito tornar-se numa indústria mais sustentável, de modo a satisfazer as necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. A pressão social, assim como as fortes evidências associadas às alterações climáticas têm vindo, a impulsionar o desenvolvimento de tecnologias e sistemas de produção mais sustentáveis, de forma a mitigar as alterações climáticas e a deterioração ambiental [2].

A avaliação de ciclo de vida (ACV) trata-se de uma metodologia que permite quantificar os impactes ambientais ao longo de todas as etapas do ciclo de vida de um produto e/ou processo [1]. Os estudos de ACV são instrumentos necessários que permitem o planeamento de melhores estratégias de gestão de ciclo de vida de um dado produto e/ou processo e a melhoria do seu desempenho ambiental, potenciando padrões de consumo de alimentos mais sustentáveis [3].

O Valor Natural® é um projeto que tem como objetivo a valorização de recursos de origem natural, através da extração de novos aditivos de elevado valor acrescentado (aromas, corantes e bioativos), para a utilização na indústria alimentar. Para além disto, o projeto procura desenvolver novas tecnologias de extração, refinação e conservação a uma escala piloto.

O presente estudo tem como objetivo a avaliação do desempenho ambiental do processo de extração dos ingredientes naturais no âmbito do projeto Valor Natural® que apresentam maior potencial e um estado de desenvolvimento mais elevado. Além de caracterizar os impactes ambientais associados aos ingredientes em desenvolvimento (à escala laboratorial), pretende-se identificar os potenciais pontos críticos dos processos. Assim, este trabalho é uma ferramenta útil no auxílio de eventuais tomadas de decisão com o objetivo de reduzir os impactes ambientais associados aos mesmos e torná-los mais sustentáveis, nomeadamente para apoiar o *scale up* dos métodos de extração abordados.

Este entregável (E8.4.6) estrutura-se da seguinte forma:

**Sistema em Análise e Metodologia:** onde são referidos os ingredientes em análise (corantes, aromas e bioativos naturais) e descritos os seus processos de obtenção de uma forma sumária. São definidos o objetivo e âmbito do estudo, a abordagem a utilizar e a metodologia de avaliação de ciclo de vida (ACV);

**Avaliação Ambiental:** aqui, apresentam-se os resultados de avaliação ambiental de ciclo de vida obtidos para os ingredientes a uma escala laboratorial e a sua respetiva análise;

**Conclusões:** nesta secção são expostas as principais conclusões do estudo, de modo a potenciar melhorias no desempenho ambiental dos processos de extração dos produtos analisados e suportar o *scale up* dos mesmos.

## 2. Sistema em Análise e Metodologia

Como referido no Entregável 8.4.3, a metodologia utilizada neste entregável é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que é amplamente aceite internacionalmente e definida pelas normas ISO 14040 [3] e ISO 14044 [5]. Esta metodologia tem como principal objetivo a avaliação dos impactes ambientais associados a um produto (ou processo) durante a totalidade ou parte do seu ciclo de vida. Os resultados obtidos da ACV podem ser utilizados para diferentes fins, nomeadamente para: informar a tomada de decisão, identificar oportunidades de melhoria de desempenho ambiental do produto durante as diferentes fases de ciclo de vida, *marketing* ou até mesmo para a escolha de indicadores de desempenho ambiental relevantes.

A metodologia de ACV está dividida em quatro fases interligadas entre si, o que a torna numa metodologia iterativa, proporcionando consistência e compreensão da análise e dos resultados obtidos. Sumariamente, as quatro fases são:

- 1. Fase de definição do objetivo e do âmbito:** onde são definidos o objetivo da aplicação pretendida e o sistema em estudo (diagrama de processos unitários incluídos). Nesta etapa, também são descritas as fronteiras do sistema, o nível de detalhe e a unidade funcional (UF), que é unidade de medida para a qual os impactes ambientais vão ser calculados.
- 2. Fase de inventário:** recolhe-se o inventário de ciclo de vida (ICV), quantificando-se os principais fluxos de entrada (materiais, energia) e de saída (emissões, resíduos, produtos e coprodutos) associados aos diferentes processos unitários e entre a fronteira do sistema. Posteriormente, os fluxos (*inputs* e *outputs*) são determinados para unidade funcional;
- 3. Fase de avaliação de impacte:** esta etapa envolve a escolha das categorias de impacte ambiental, as quais devem ser representativas dos impactes ambientais mais significativos do produto ou serviço em estudo. Os fluxos de

inventário, obtidos na etapa anterior, são quantificados em impactes ambientais, com base em metodologia(s) de avaliação de impacte ambiental.

- 4. Fase de interpretação:** nesta última etapa, apresentam-se os resultados da avaliação de impacte ambiental e identificam-se os pontos críticos do sistema, com base em todas as fases de ciclo de vida analisadas. Aqui, podem também identificar-se alternativas de melhoria do desempenho ambiental do produto ou processo em estudo. Portanto, esta fase pode funcionar como suporte a recomendações ou tomada de decisão.

Esta metodologia foi aplicada a todos os aditivos em análise: corantes, aromas e bioativos naturais.

## I. Objetivo e Âmbito em Estudo

O principal objetivo do presente estudo é a avaliação de impacte ambiental da produção de vários ingredientes naturais para aplicação na indústria alimentar, desenvolvidos no projeto mobilizador Valor Natural®. O estudo de ACV procura caracterizar os impactes ambientais dos métodos de extração, à escala laboratorial, e identificar os pontos críticos do processo. Espera-se ainda que os resultados do estudo de ACV sirvam de suporte ao futuro *scale-up* destes desenvolvimentos para uma escala piloto e, posteriormente, para uma escala comercial. Assim, os processos extrativos analisados são os processos associados aos ingredientes corantes (PPS3), aromas (PPS4) e bioativos (PPS5) que irão ser descritos ao longo da subsecção seguinte. A unidade funcional (UF) definida para todos os ingredientes em estudo foi 1 g de extrato produzido e considerou-se uma abordagem *gate-to-gate*, onde se inclui todos os impactes obtidos desde que a matéria-prima chega ao laboratório até à obtenção do aditivo alimentar pretendido. Assim, ficam excluídas da análise todas as etapas relativas à produção agrícola e/ou obtenção das matérias-primas e as fases de incorporação dos ingredientes nos produtos alimentares por serem etapas que apresentam uma elevada incerteza.

## II. Definição dos Sistemas

Nesta secção são descritos, de uma forma sumária, os processos de extração e os sistemas em estudo para os diferentes ingredientes analisados, de modo a realizar o inventário de ciclo de vida mais adequado. Apesar de existirem processos unitários semelhantes, os produtos foram analisados separadamente. Aqui, são também apresentados os produtos e resíduos obtidos, assim como as considerações implementadas

em cada etapa de ciclo de vida dos mesmos. De notar que, para todos os ingredientes em análise, o processo é sequencial. Deste modo, só quando um dado processo unitário se encontra completo, se passa para o processo seguinte.

Tabela 1 - Identificação dos aditivos alimentar de origem natural em estudo.

Classe de Aditivo Alimentar	Identificação do Aditivo Alimentar
<b>Corantes naturais</b>	Extrato de corante à base de <i>Hibiscus Sabdariffa</i> L. ( <i>H. sabdariffa</i> )
	Extrato corante à base de <i>Sambucus Nigra</i> L. ( <i>S. nigra</i> )
	Extrato corante à base de <i>Gomphrena Globosa</i> L. ( <i>G. globosa</i> )
	Extrato corante à base de <i>Bixa Orellana</i> L. ( <i>B. orellana</i> )
	Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ( <i>C. longa</i> )
<b>Aromas naturais</b>	Extrato corante à base de <i>Curcuma Longa</i> L. ( <i>C. longa</i> ) encapsulado
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca - por extração com fluido supercrítico – Cenário A
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada - obtido por extração com fluido supercrítico – Cenário A
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca – obtido por hidrodestilação e liofilização do hidrolato – Cenário B
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada – obtido por hidrodestilação e liofilização do hidrolato – Cenário B
<b>Bioativos Naturais</b>	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) fresca – obtido por hidrodestilação – Cenário C
	Extrato aromático à base de <i>Rosmarinus Officinallis</i> L. ( <i>R. officinalis</i> ) desidratada – obtido por hidrodestilação – Cenário C
	Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol
<b>Bioativos Naturais</b>	Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (com irradiação UV no início do processo extrativo) – Cenário 1
	Extrato enriquecido em Vitamina D <sub>2</sub> (com irradiação UV no fim do processo extrativo) – Cenário 2

### i. Corantes Naturais

Ao longo desta subsecção, vão ser descritos os sistemas de produção dos extratos de corantes naturais estudados.

#### a. Extrato corante à base de *H. sabdariffa*:

Na Figura 1, encontra-se representado o fluxograma de processo para o sistema de produção do extrato corante à base de *H. sabdariffa*. A matéria-prima é transportada à temperatura ambiente desde o fornecedor, em Alfândega da Fé, até ao laboratório (em Bragança). Posteriormente, a amostra é congelada, triturada (até à obtenção de um pó) e submetida ao processo de extração por maceração, de modo a extrair o princípio ativo



pretendido, utilizando uma mistura de etanol/água (80:20) como solvente. De seguida, o solvente com o extrato é filtrado por gravidade através de um filtro de *nylon*. De modo a recuperar o solvente, a solução é, posteriormente, sujeita ao processo de evaporação. Por fim, o extrato passa pelo processo de *spray-drying*, utilizando maltodextrina (20 %) como material encapsulante. Assim, obtém-se o extrato corante à base de *H. sabdariffa*.

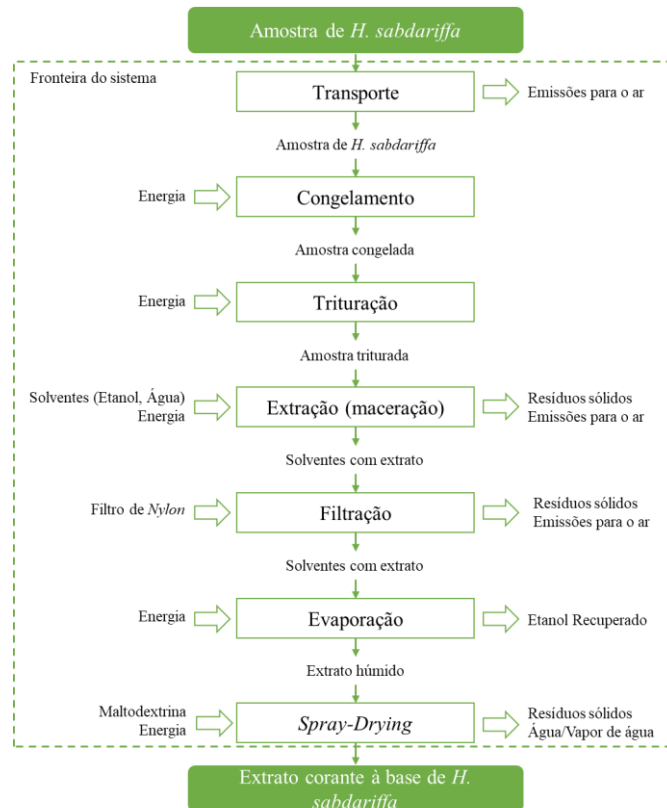


Figura 1 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *H. sabdariffa*

### b. Extrato corante à base de *S. nigra*:

O processo relativo à obtenção do extrato corante à base de *S. nigra* é semelhante ao anterior. O fluxograma de processo para o sistema considerado encontra-se apresentado na Figura 3.

A matéria-prima é recolhida e transportada pelos colaboradores nas imediações do laboratório. Chegada ao local, a amostra é congelada e submetida ao processo de extração, utilizando uma liquidificadora até à obtenção de uma espécie de sumo. Posteriormente, a mistura é submetida ao processo de centrifugação, de modo a separar a fase líquida da fase sólida (resíduo). De seguida, a amostra passa pelo processo de filtração por gravidade, utilizando um filtro de *nylon* para remover os restantes resíduos. Por último, o extrato é sujeito ao processo de *spray-drying*, empregando maltodextrina (20 %) como material encapsulante.



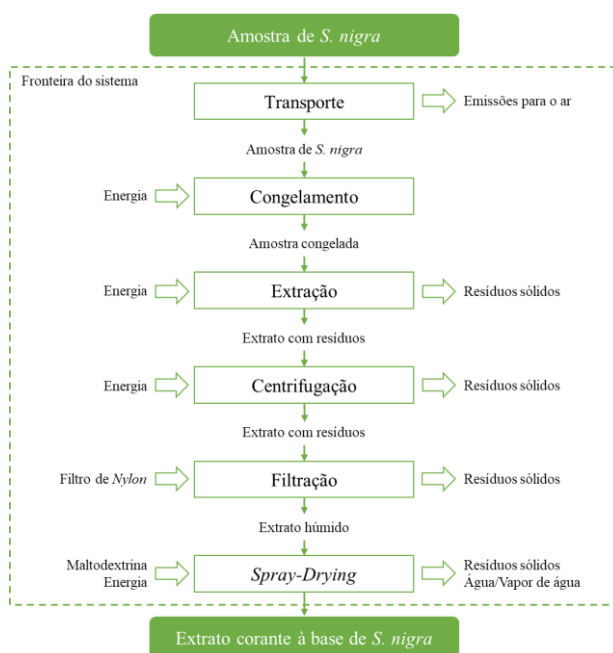


Figura 2 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *S. nigra*

**c. Extrato corante à base de *G. globosa*:**

À semelhança dos restantes extratos corantes, na Figura 3 está representado o fluxograma de processo para a obtenção do extrato corante à base de *G. globosa*. A amostra é transportada à temperatura ambiente desde o fornecedor, em Castro Daire, até ao laboratório, em Bragança, e submetida ao processo de trituração até redução a pó. De seguida, é efetuado o processo de extração por maceração, utilizando como solvente água. Findado este processo, a amostra é filtrada por gravidade, através de um filtro de nylon, de modo a retirar os resíduos sólidos presentes. Por último, o extrato húmido é submetido ao processo de *spray-drying*, usando maltodextrina (20 %) como material encapsulante.

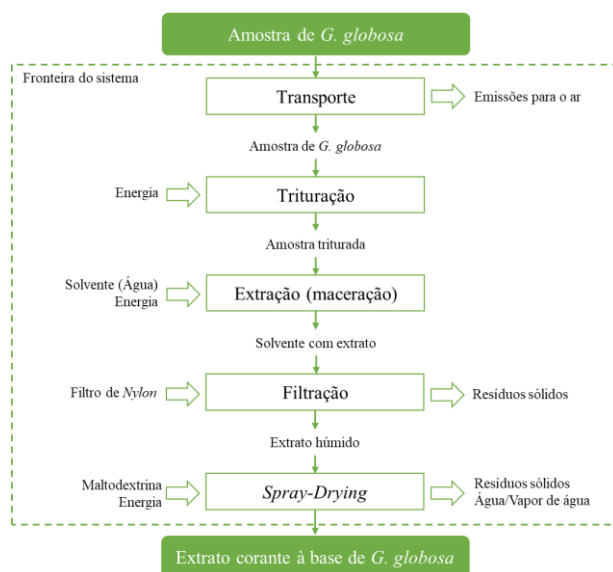


Figura 3 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *G. globosa*

#### d. Extrato corante à base de *B. orellana*:

Na Figura 4 está representado o fluxograma do processo de obtenção do extrato corante à base de *B. orellana*. O processo inicia-se com o transporte da amostra de *B. orellana* do Brasil até ao laboratório à temperatura ambiente. De seguida, a matéria-prima é triturada e procede-se à extração assistida por ultrassons (EAU), utilizando etanol como solvente. A solução resultante do processo anterior é filtrada por gravidade e o solvente é recuperado por evaporação. Por último, o extrato húmido é congelado e liofilizado de modo a retirar a quantidade de água nele presente.

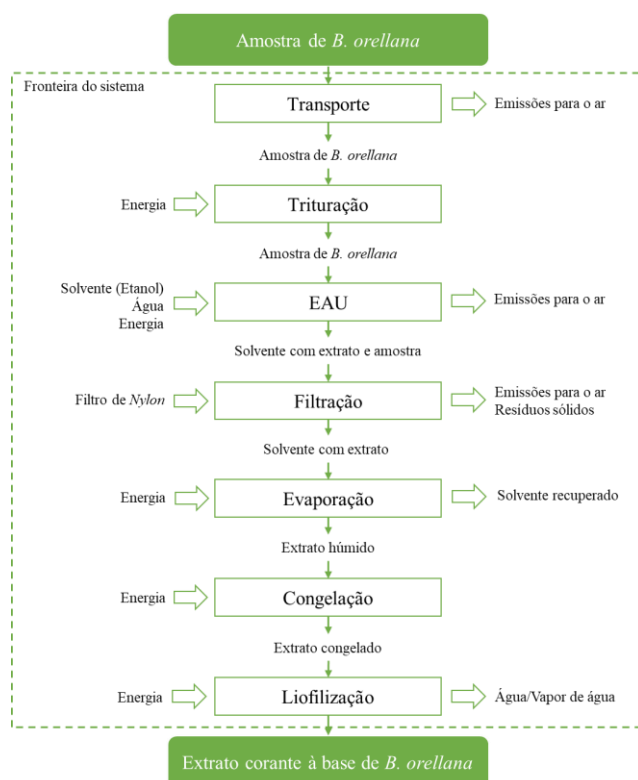


Figura 4 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *B. orellana*

#### e. Extrato corante à base de *C. longa*:

O processo de produção do extrato corante à base de *C. longa* encontra-se definido no fluxograma apresentado na Figura 5. As amostras da matéria-prima são adquiridas num estabelecimento local e transportadas até ao laboratório à temperatura ambiente, onde são preparadas e se procede à EAU. Neste processo é utilizado uma mistura etanol/água (57,5:42,5) como solventes. De seguida, a solução obtida é filtrada, de modo a remover os resíduos, e o etanol é recuperado por evaporação. O processo é concluído com a congelação e liofilização do extrato para remover a quantidade de água nele existente.

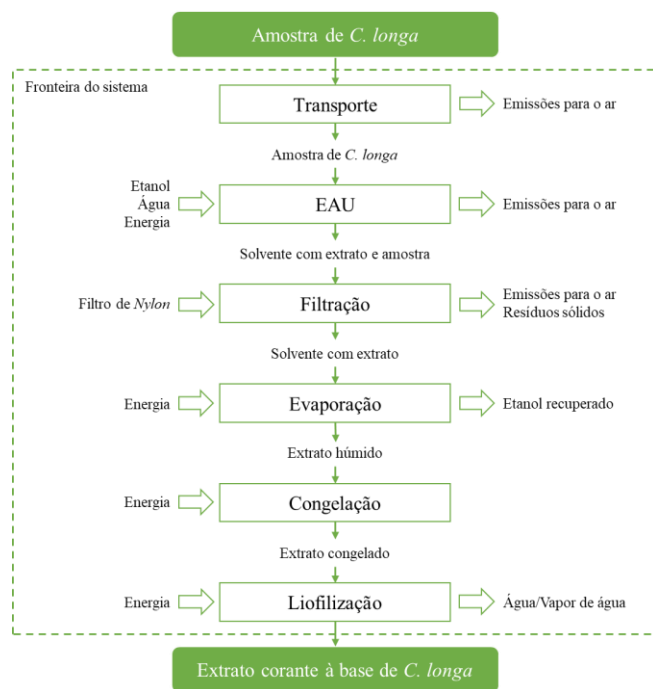


Figura 5 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *C. longa*

#### f. Extrato corante à base de *C. longa* encapsulado:

A Figura 6 apresenta o processo extrativo do extrato corante à base *C. longa* encapsulado. Depois de transportada, a amostra de *C. longa* é adicionada às soluções preparadas (solução tampão e solução aquosa) e procede-se à extração assistida por ultrassons (EAU). Findado o processo anterior, o extrato é seco por *spray-drying* em modo *inert loop*, recorrendo ao uso de azoto.

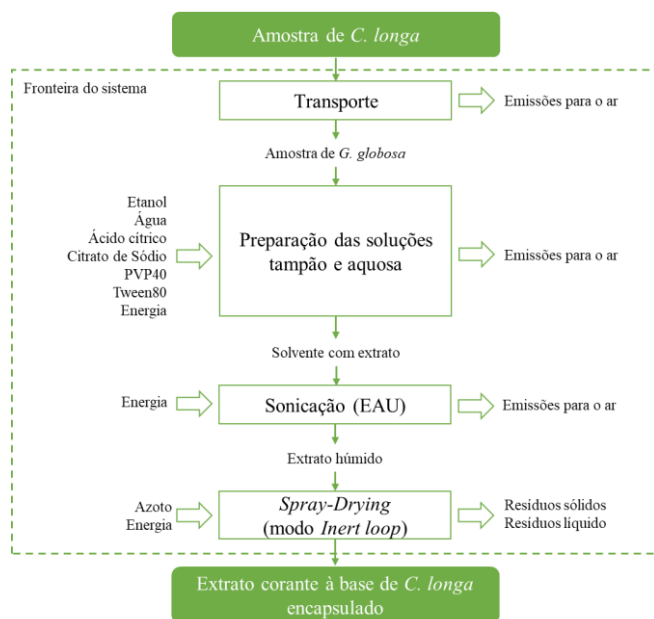


Figura 6 - Fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato corante à base de *C. longa* encapsulado

## ii. Aromas Naturais

### a. Extratos à base de *R. officinalis*:

Para estes ingredientes, foi analisado o impacto ambiental do processo de extração de aromas provenientes, quer do *R. officinalis* fresco, quer desidratado, de modo a averiguar qual o estado da matéria-prima mais benéfico para o processo de obtenção deste tipo de extratos. Adicionalmente, o estudo considera processos extrativos distintos. Assim, partindo da matéria prima fresca e desidratada, foram considerados três cenários de extração:

- A - Extração por fluido supercrítico (SFE);
- B - Hidrodestilação com liofilização do hidrolato;
- C - Hidrodestilação sem aproveitamento do hidrolato.

Na Figura 7, está apresentado o fluxo de processos unitários para a obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis*, quer para a amostra fresca, quer para a amostra desidratada através do processo de SFE. De uma forma breve, a amostra de *R. officinalis* é transportada à temperatura ambiente desde o seu fornecedor, na Póvoa de Lanhoso, até ao laboratório. Aqui, as mostras são submetidas ao processo de extração por fluido supercrítico (SFE), utilizando como fluido o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). No final do processo, é obtido o extrato aromático à base de *R. officinalis*.

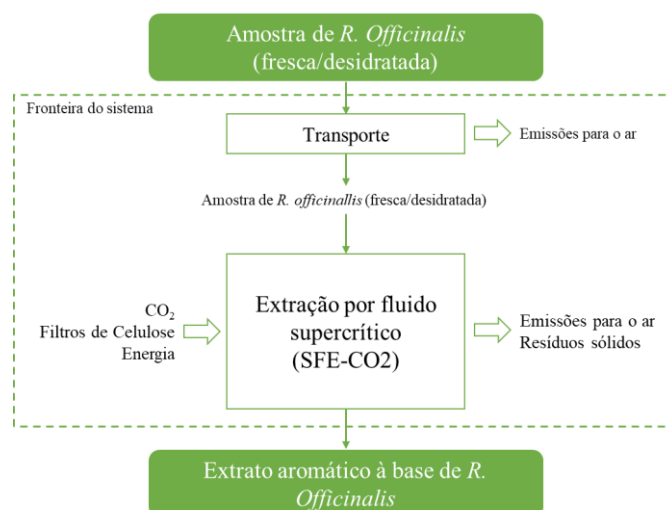


Figura 7 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis* – extração por fluido supercrítico (cenário A)

Atendendo ao processo de hidrodestilação (HD) com liofilização do hidrolato (cenário B), o fluxo de processos unitários para a obtenção do mesmo extrato encontra-se na Figura 8. A amostra é transportada nas mesmas condições e do mesmo local do apresentado no cenário A. Chegada ao laboratório, a amostra é preparada manualmente e

é submetida ao processo de hidrodestilação durante 3 horas. No final do processo, é obtido um óleo essencial e um hidrolato.

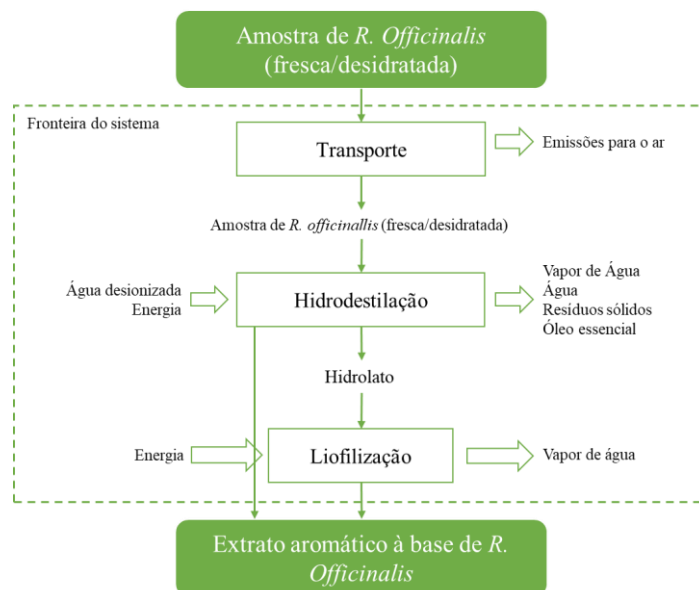


Figura 8 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis* – Hidrodestilação (cenários B e C)

O hidrolato consiste num determinado montante de água que contém uma quantidade residual de óleo essencial. De forma a maximizar o óleo essencial da extração, o hidrolato passa pelo processo de liofilização de modo a retirar o excesso de água e obter a quantidade de óleo essencial nele presente. Este processo é opcional e o estudo de ACV irá avaliar o impacto ou benefício ambiental de incluir o processo adicional de liofilização.

O processo extrativo do cenário C é similar ao processo descrito para o cenário B, com exceção que, como o hidrolato não é aproveitado, a sua liofilização não é incluída.

### iii. Bioativos Naturais

#### a. Extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol:

O diagrama de fluxo do sistema de produção do extrato enriquecido em micosteróis é apresentado na Figura 9.

De uma forma geral, os biorresíduos de cogumelos são transportados desde a empresa produtora dos mesmos, em Mogadouro, até ao laboratório. De seguida, a matéria-prima é submetida ao processo de liofilização, retirando-se a maior parte da água presente nos cogumelos. Posteriormente, a fração sólida é retirada e triturada até redução a pó. Esta é submetida ao processo de extração assistida por ultrassons (EAU), utilizando o etanol

como solvente. No final da extração, é efetuada uma centrifugação, permitindo a separação da fase sólida (resíduo) da fase líquida. Depois do processo de centrifugação, o solvente com extrato e alguns resíduos sólidos que restaram são filtrados por gravidade, utilizando um filtro de *nylon*. Por fim, o solvente é recuperado através do processo de evaporação.

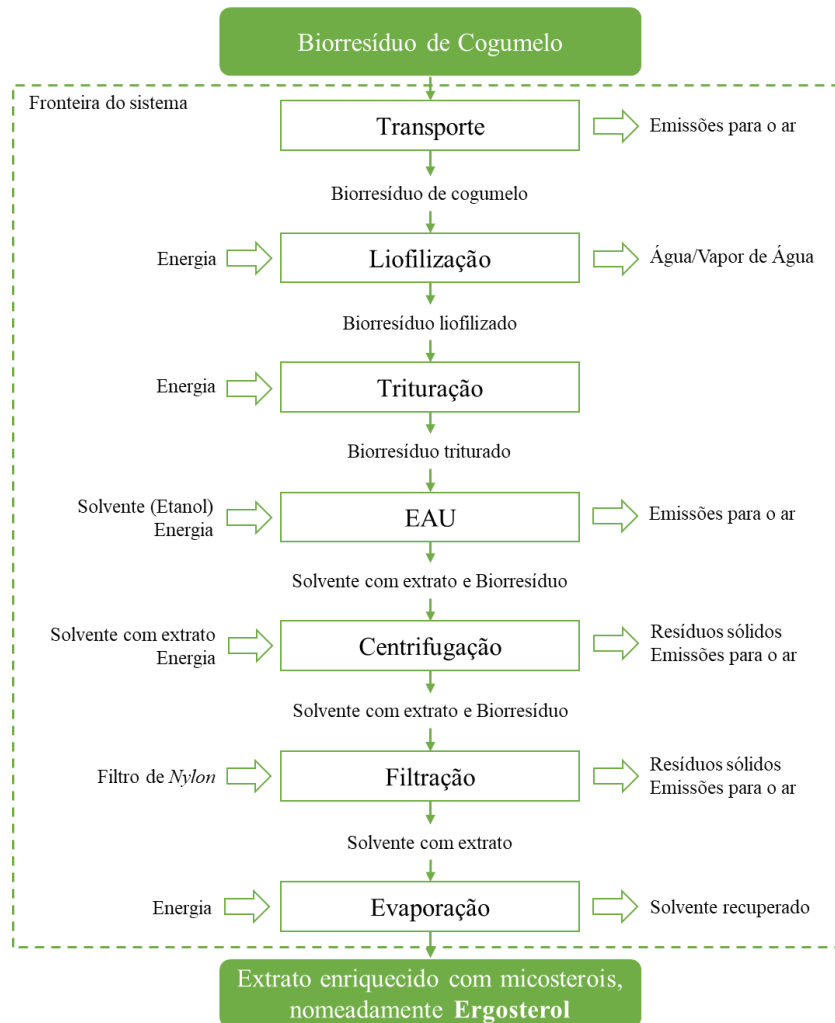


Figura 9 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol

### b. Extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>:

Relativamente ao processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, foram identificados e analisados dois métodos diferentes (cenários 1 e 2).

Por um lado, na Figura 10 pode-se observar um fluxograma idêntico ao processo de extração do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol. No entanto, aqui, antes de se proceder à liofilização e trituração, a amostra é introduzida numa câmara de irradiação ultravioleta (UV), de modo a converter o ergosterol em vitamina D<sub>2</sub>. Assim,

após a irradiação UV, os biorresíduos são liofilizados nas mesmas condições utilizadas para obter o extrato enriquecido com miscosteróis. O produto sólido é de seguida triturado e efetua-se a EAU, utilizando hexano, metanol e Dimetilsufóxido (DMSO) como solventes. Repete-se o processo de EAU nas mesmas condições, com a exceção dos solventes. Parte do hexano é retirado e volta-se a introduzir um novo volume deste. É importante referir que, no fim de cada processo de extração, procede-se à centrifugação para separar o sobrenadante do resíduo sólido. Findados os processos, é realizada, por gravidade, a filtração. Após a extração, o solvente é recuperado, usando um evaporador rotativo, de modo a obter-se um extrato sólido enriquecido com vitamina D<sub>2</sub>. Por fim, com o objetivo de ser reutilizado no processo, é efetuada uma lavagem (recuperação) do DMSO no extrato, utilizando o acetato de etilo.

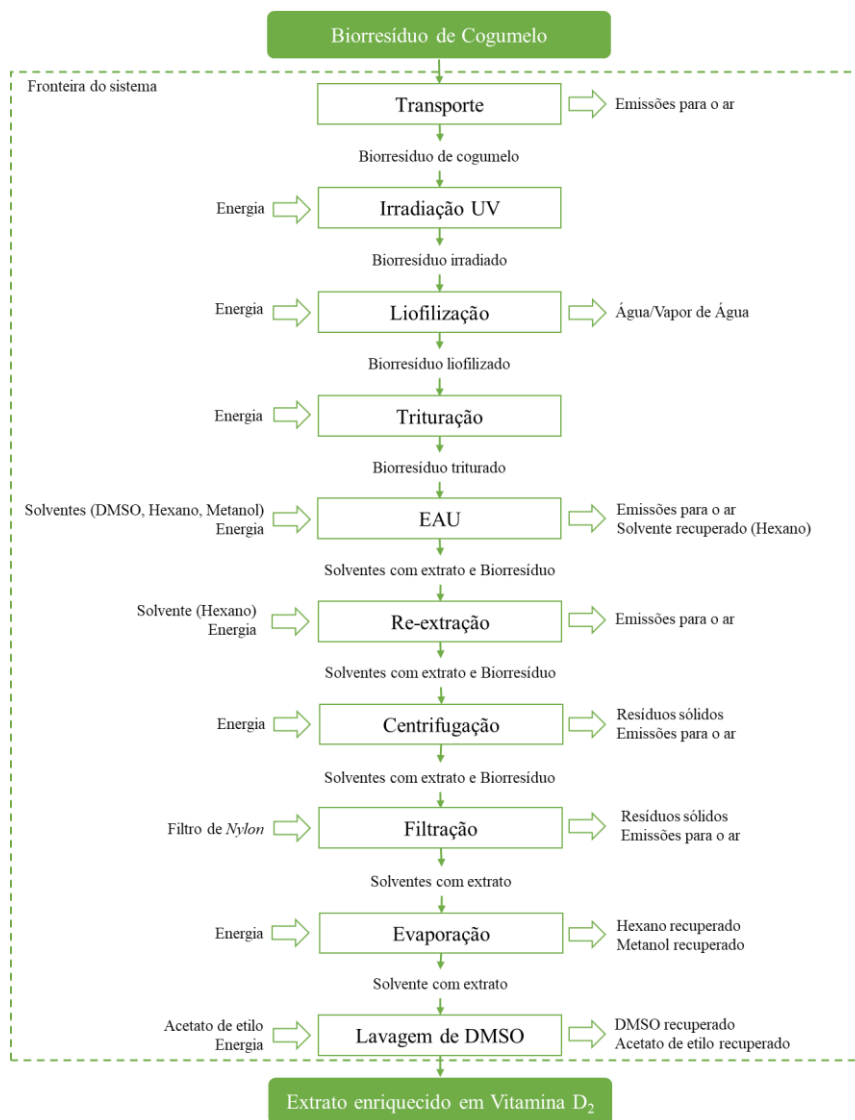


Figura 10 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1)

Por outro lado, na Figura 11 apresenta-se o fluxograma de um processo similar ao referido anteriormente, com a principal diferença de que o processo de irradiação UV é efetuada no final do processo (ao extrato) e não no início.

Depois de transportada, a matéria-prima é triturada, congelada e submetida ao processo de liofilização de modo a retirar a quantidade de água presente nos cogumelos. De seguida, o extrato é obtido por extração assistida por ultrassons (EAU), utilizando etanol como solvente. No fim do processo, a solução é filtrada e recupera-se o etanol por evaporação. Com já referido, o processo conclui-se com a irradiação (UV) do material obtido, de modo a converter o ergosterol em Vitamina D<sub>2</sub>.

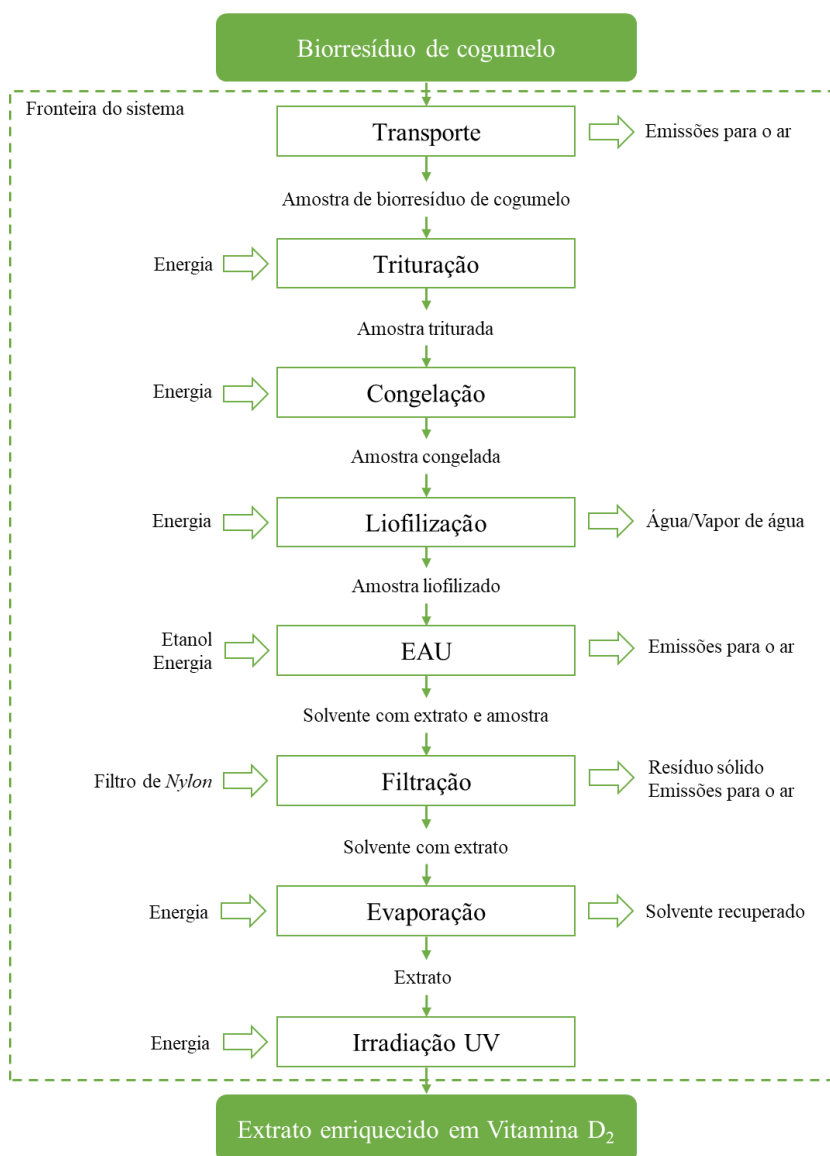


Figura 11 - Fluxo de processos unitários para obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2)



### III. Inventário de Ciclo de Vida

De modo a completar os dados de inventário dos processos de obtenção de cada ingrediente utilizou-se, sempre que possível, os dados primários disponibilizados pelos parceiros do projeto Valor Natural®. Esta informação diz respeito aos dados das condições operatórias dos processos, quantidades de cada fluxo considerado (ex.: materiais, resíduos e energia) e as características dos equipamentos utilizados. Estes operam, de forma geral, através do consumo de energia, com exceção do equipamento utilizado na filtração que é realizada através da ação da gravidade. Por outro lado, os dados não quantificados, dados secundários, foram obtidos através da literatura e da base de dados ecoinvent (v.3.7), usando, sempre que possível, dados relativos às realidades portuguesa (ex.: *mix* energético) e europeia.

De um modo geral, a água utilizada para a lavagem de materiais e para a lavagem de equipamentos, não foi considerada. Sendo todos os processos executados a uma escala laboratorial, não se considerou significativa para o estudo.

Para os extratos corantes, considerou-se que o transporte das amostras da matéria-prima era realizado por uma carrinha de transporte comercial ligeira, uma vez que se trata de uma quantidade de amostra reduzida. O mesmo foi considerado para o extrato aromático à base de *R. officinalis*. De referir que a água utilizada durante o processo extrativo, para os extratos corantes e para o extrato aromático obtido por hidrodestilação (HD), é previamente tratada por osmose inversa, considerando-se, assim, água desionizada proveniente do poço na base de dados da *ecoinvent*. A maltodextrina, utilizada no processo de *spray-drying*, não está disponível nas bases de dados usadas (i.e: *ecoinvent*). Posto isto, através da análise da literatura, optou-se por calcular os impactes ambientais dos processos de obtenção dos três extratos corantes com a incorporação de glicose, uma vez que apresentam composições e propriedades semelhantes. Considerou-se uma recuperação de 94 % do etanol utilizado no processo de obtenção do extrato corante à base de *H. sabdariffa* durante o processo de evaporação e de 96 % para os restantes extratos corantes (à base de *B. orellana*, *C. longa* e *C. longa encapsulado*). Por não ser possível a sua quantificação, as perdas foram contabilizadas, de igual forma, durante o processo de extração. No estudo do extrato corante à base de *S. nigra* foi considerado uma perda de materiais (resíduos) de 2 % no processo de extração. Relativamente ao processo de obtenção do extrato à base de *C. longa* encapsulado, os materiais PVP40 e Tween80 não se encontram disponíveis na base de dados da *ecoinvent*.

Efetuiu-se uma pesquisa de *proxys* para colmatar esta lacuna de informação. No entanto, os mesmos não foram encontrados para o Tween80. Deste modo, não foi considerado no estudo. Por outro lado, o PVP40, que é um composto que pode ser usado para diversos fins, foi modelado de acordo com o inventário adotado por Schlanbusch, R. et al., (2014).

Para a quantificação do extrato aromático à base de *R. officinalis* obtido por HD (Cenário B), somou-se a quantidade de óleo essencial obtido a seguir a este processo com a quantidade de hidrolato desidratado, após a liofilização.

Relativamente aos bioativos naturais, foi considerado que os biorresíduos de cogumelos possuíam um teor em água de 90 % da sua massa que é removida durante o processo de liofilização. Também para estes ingredientes, os solventes são recuperados durante o processo de evaporação para serem reutilizados. Não sendo possível determinar a percentagem de solventes recuperados, considerou-se o valor de 80 %, tendo por base valores da literatura. A exceção é o solvente de Dimetilsufóxido (DMSO) utilizado no processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> que é recuperado na sua totalidade. De modo a simplificar o processo de obtenção, para este extrato, alocaram-se todos os *inputs* e *outputs* das duas centrifugações no mesmo processo unitário. O transporte da matéria-prima utilizada para a obtenção dos bioativos naturais é realizado por uma carrinha refrigerada a 4 °C.

Para o cálculo dos impactes ambientais provocados pelo transporte da matéria-prima utilizada para os diferentes ingredientes em análise neste estudo de ACV, determinou-se uma média aritmética dos principais trajetos possíveis, desde a indústria produtora até ao laboratório (Instituto Politécnico de Bragança, IPB) e vice-versa (ida e volta).

As tabelas de inventário de ciclo de vida inerentes a todos os processos unitários para os ingredientes mencionados estão disponíveis no Anexo I.

### 3. Avaliação Ambiental

A avaliação dos impactes ambientais foi realizada pelo *software* de avaliação de ciclo de vida SimaPro [7], v.9.1, através do método ReCiPe 2016, na perspetiva hierarquista (H), v.1.04.

De acordo com A. Del Borghi et al. [3], as categorias de impacte usadas com frequência para a avaliação de impactes ambientais são as categorias que consideram o potencial de acidificação, aquecimento global, eutrofização e formação de ozono fotoquímico. Em particular, para o setor alimentar, existem outros indicadores igualmente

significativos, nomeadamente o uso do solo, potencial de depleção abiótico e indicadores de água e consumo, produção de resíduos e recursos. Assim sendo, as categorias de impacte ambiental (*midpoints*, ou pontos médios) avaliadas estão indicadas na

Tabela 2.

Tabela 2 - Categorias de impacte ambiental (*midpoints*) selecionadas

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>
<b>Aquecimento Global (GW)</b>	kg CO <sub>2</sub> eq
<b>Depleção do Ozono Estratosférico (OD)</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq
<b>Formação de Ozono (OF)</b>	kg NO <sub>x</sub> eq
<b>Acidificação Terrestre (TA)</b>	kg SO <sub>2</sub> eq
<b>Eutrofização em Água Doce (FE)</b>	kg P eq
<b>Eutrofização Marinha (ME)</b>	kg N eq
<b>Toxicidade Humana (HT)</b>	kg 1,4-DCB
<b>Utilização do Solo (LU)</b>	m <sup>2</sup> a crop eq
<b>Escassez de Recursos Minerais (MRS)</b>	kg Cu eq
<b>Escassez de Recursos Fósseis (FRS)</b>	kg oil eq
<b>Consumo de Água (WC)</b>	m <sup>3</sup>

#### IV. Interpretação de Resultados

Nesta secção, são apresentados os resultados globais e relativos associados ao processo de obtenção dos aditivos em desenvolvimento, assim como uma breve análise dos mesmos. Os impactes ambientais quantitativos estão, na sua totalidade, disponíveis no Anexo II.

##### i. Corantes Naturais

Na Tabela 3 encontram-se presentes os impactes ambientais globais obtidos para o processo de obtenção do extrato corante à base de *H. sabdariffa*. A Figura 12 diz respeito à representação gráfica da contribuição relativa de cada etapa do mesmo processo para todas as categorias de impacte ambiental em análise.

Analisando os resultados, verifica-se que o *spray-drying* é o processo com maior contribuição para os impactes em todas as categorias observadas (em média, apresenta um peso de 85 %). Estes impactes dizem respeito, em grande parte, à produção e utilização da eletricidade por parte do equipamento usado (99 % em todas as categorias, com exceção da categoria de LU – 95 %).

A evaporação apresenta um peso médio de cerca de 10 %. Estes impactes são reflexo do consumo energético do equipamento utilizado para esta etapa. O processo de extração é responsável, em média, por cerca de 3 % dos impactes observados na obtenção do extrato corante à base de *H. sabdariffa*, tendo uma maior relevância nas categorias de OF e FRS (5 % e 6 %, respetivamente). Este facto é explicado pelo uso do etanol como solvente nesta fase do processo.

Tabela 3 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato corante à base de *H. sabdariffa*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	7,987E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	3,330E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	4,674E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	4,606E-02
<b>FE</b>	kg P eq	3,235E-03
<b>ME</b>	kg N eq	2,309E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	8,684E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	1,426E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,366E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	2,120E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	8,857E-02

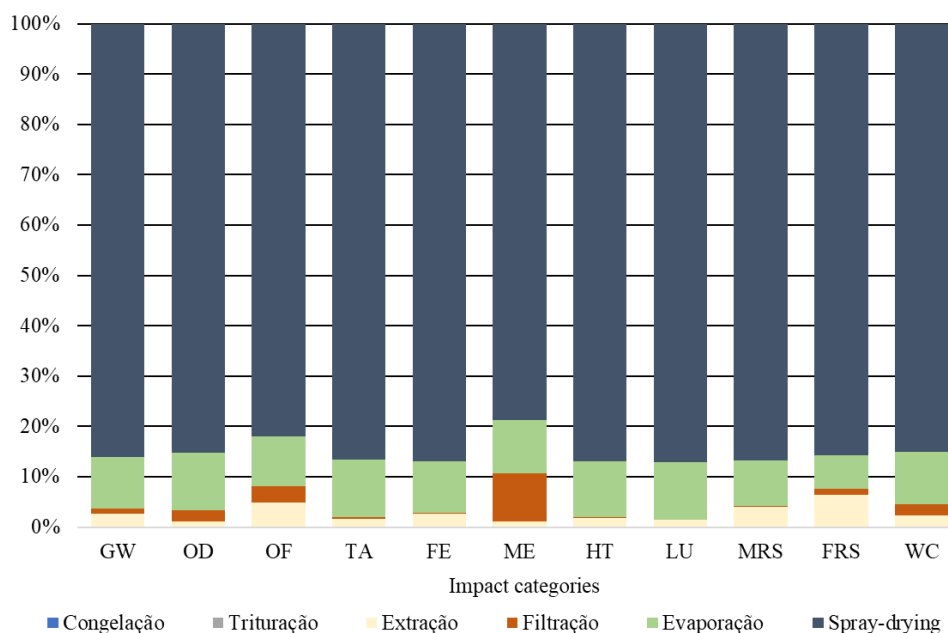


Figura 12 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *H. sabdariffa*)

Por outro lado, os processos de transporte, congelação, trituração e filtração são as etapas com menor impacte ambiental, apresentando uma percentagem média inferior a 2 %.

Relativamente ao processo de obtenção do extrato corante à base de *S. nigra*, os impactes ambientais globais obtidos estão apresentados na Tabela 4. Na Figura 13, encontram-se representadas as contribuições relativas de cada processo unitário para todas as categorias de impacte analisadas.

Tabela 4 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base de *S. nigra*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	2,574E-02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,253E-08
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	1,428E-04
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,497E-04
<b>FE</b>	kg P eq	1,041E-05
<b>ME</b>	kg N eq	1,150E-06
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,782E-02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,004E-02
<b>MRS</b>	kg Cu eq	4,678E-05
<b>FRS</b>	kg oil eq	6,813E-03
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	2,901E-04

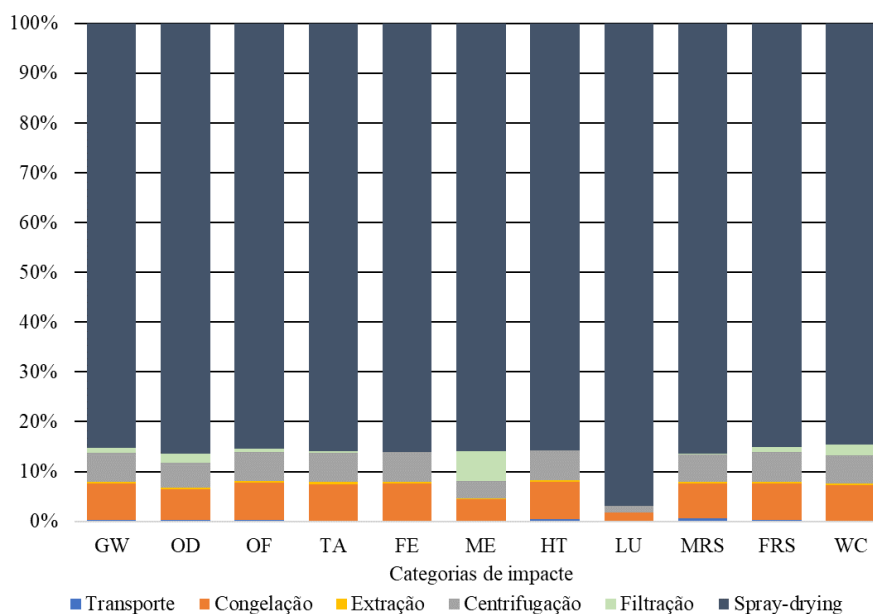


Figura 13 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *S. nigra*)

Os resultados obtidos para o extrato corante à base de *S. nigra* demonstram as mesmas conclusões apresentadas para o extrato anterior. O *spray-drying* é o processo com maior consumo energético e apresenta maiores valores de impacte ambiental em todas as categorias observadas (em média, cerca de 87 % dos impactes). A congelação e a centrifugação são responsáveis por cerca de 6 % e 5 % dos impactes ambientais obtidos, respetivamente.

Por outro lado, o transporte e a extração, são os processos com menor impacte ambiental, apresentando percentagens inferiores a 1 % dos impactes ambientais obtidos. Na categoria de ME, a etapa de filtração apresenta uma expressão considerável (cerca de 6 %) que é explicada pela utilização do filtro de *Nylon*. A Tabela 5 diz respeito aos impactes ambientais globais obtidos para o extrato corante à base de *G. globosa*, enquanto que a Figura 14 representa a contribuição relativa de cada processo unitário nas categorias de impacte em análise.

Uma vez mais, o *spray-drying* é o processo com maior impacte ambiental observado, representando uma percentagem média de 97 %. As restantes etapas (transporte, trituração, extração e filtração) são processos menos significativos, do ponto de vista ambiental, apresentando uma contribuição inferior a 2 %. De destacar que na categoria de ME, a fase de filtração apresenta algum relevo, cerca de 11 % dos impactes ambientais obtidos para esta categoria, que pode ser explicado pelo uso do filtro de *Nylon*, à semelhança do que se verificou no extrato corante à base de *S. nigra*.

Tabela 5 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base *G. globosa*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,361E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	5,690E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	7,541E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	7,824E-02
<b>FE</b>	kg P eq	5,478E-03
<b>ME</b>	kg N eq	3,986E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,474E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,411E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,319E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,598E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,569E-01

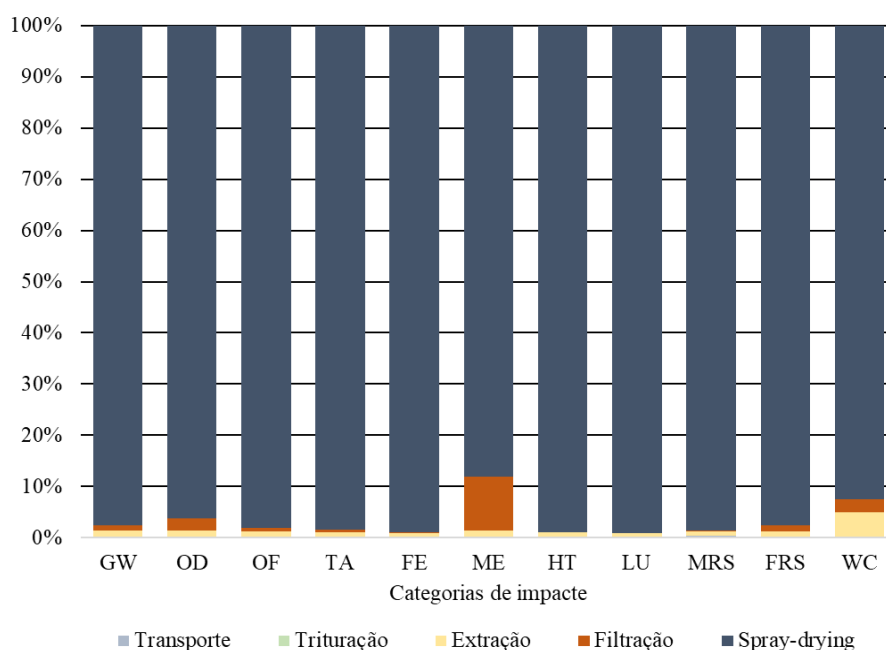


Figura 14 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *G. globosa*)

De referir que, para os três extratos corantes analisados, o fator dominante para os impactes ambientais observados é a eletricidade, sendo responsável por mais de metade dos impactes. Para o extrato corante à base de: *H. sabdariffa* – 98 %; *S. nigra* – 85 % e *G. globosa* – 97 %.

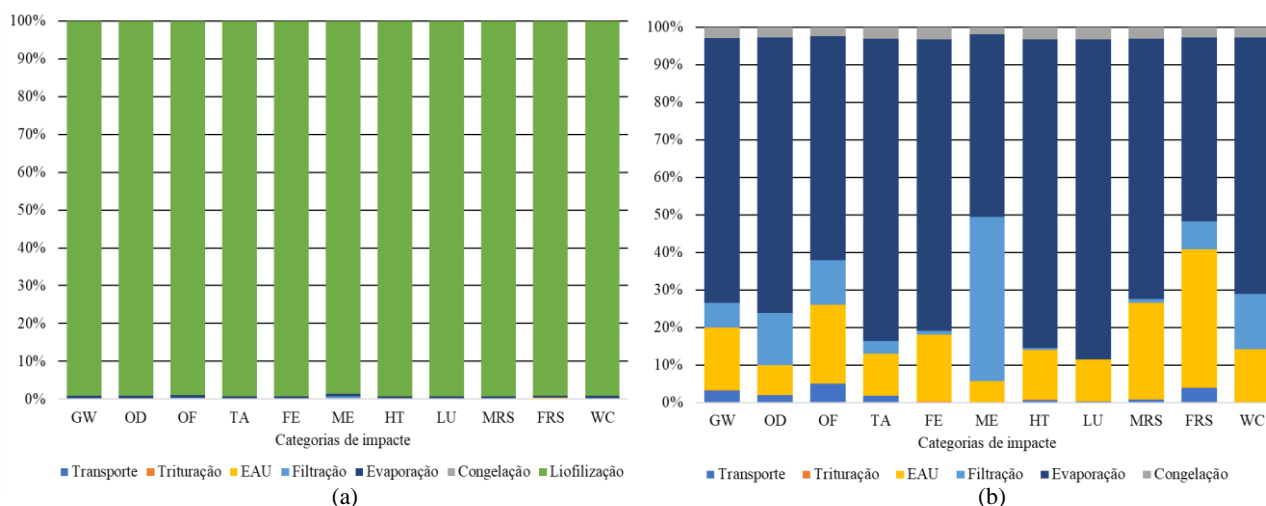
Na Tabela 6 encontram-se apresentados os impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato corante à base de *B. orellana*. À semelhança dos outros ingredientes, na Figura 15 está representada a contribuição relativa de cada processo para as categorias de impacte em estudo – Figura 15(a). De modo a permitir uma melhor perceção da contribuição dos restantes processos, na Figura 15(b) são apresentados os resultados para todos os processos unitários, com exceção da liofilização.

Como é possível verificar através da análise da Figura 15(a), a liofilização é responsável por uma grande parte dos impactes ambientais do processo extrativo (99 %) devido ao consumo energético do equipamento utilizado. A evaporação (0,6 %), extração (0,1 %) e filtração (0,1 %) são os processos que, tirando a liofilização, apresentam maior responsabilidade nos impactes obtidos (Figura 15(b)).

Uma vez mais, as etapas de transporte, trituração e congelação apresentam impactes ambientais inferiores aos restantes, ou seja, apresentam um peso médio inferior a 0,1 %.

Tabela 6 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base *B. orellana*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	2,338E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	9,634E-05
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	1,304E+00
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,355E+00
<b>FE</b>	kg P eq	9,542E-02
<b>ME</b>	kg N eq	6,199E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,564E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	4,168E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	4,024E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	6,180E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	2,559E+00


 Figura 15 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *B. orellana*), com inclusão da liofilização (a) e exclusão (b)

Os resultados globais da avaliação de ciclo de vida (ACV) do processo de obtenção do extrato corante à base de *C. longa* encontram-se na Tabela 7. Uma vez mais, na Figura 16(a) estão apresentados os resultados relativos de cada processo unitário. De forma a analisar o desempenho ambiental dos restantes procedimentos, a Figura 16(b) apresenta os resultados para todos os processos unitários, com exceção da liofilização.

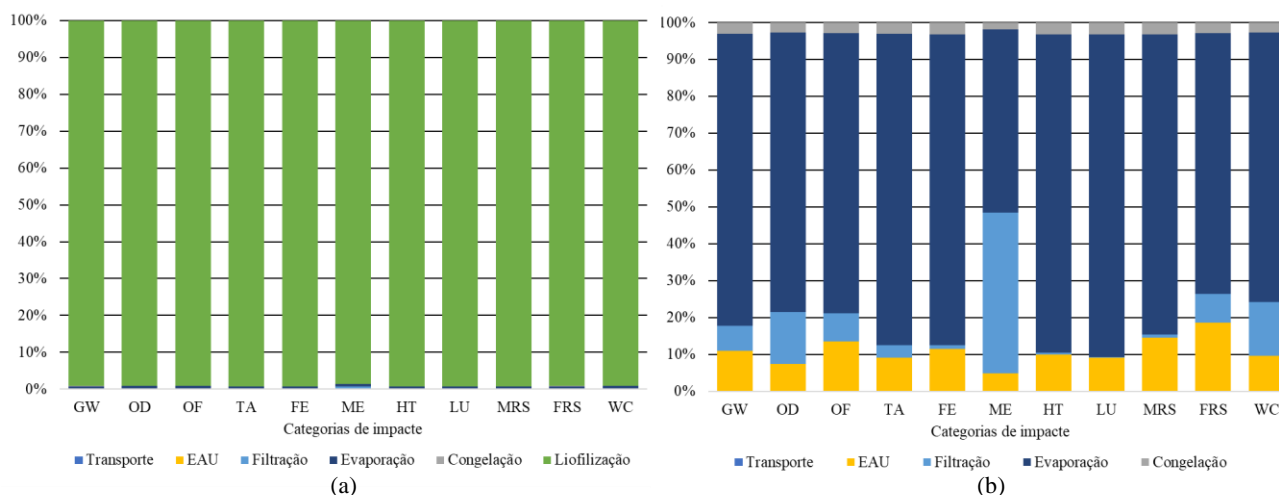
Os processos com maior impacte ambiental são os que apresentam maiores consumos energéticos. Assim como para o extrato corante à base de *B. orellana*, a liofilização é responsável por mais de 95 % dos impactes ambientais observados, seguindo-se a evaporação (0,7 %) – Figura 16(b).

Por outro lado, as etapas de transporte e congelação são os processos menos significativos para os impactes das categorias em análise.



Tabela 7 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base *C. longa*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,221E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	5,031E-05
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	6,799E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	7,078E-01
<b>FE</b>	kg P eq	4,984E-02
<b>ME</b>	kg N eq	3,238E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,339E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,177E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,102E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,227E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,336E+00


 Figura 16 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *C. longa*), com inclusão da liofilização (a) e exclusão (b)

Por último, os impactes ambientais globais do processo de produção do extrato corante à base de *C. longa* encapsulado encontram-se presentes na Tabela 8. De modo a verificar a contribuição de cada processo unitário, na Figura 17 é possível observar os seus impactes relativos.

Ao observar a Figura 17, pode verificar-se que o *spray-drying* é o processo com maior expressão em todas as categorias de impacte analisadas (88 %) devido ao consumo energético do equipamento utilizado. A etapa de preparação das soluções é responsável por cerca de 12 % dos impactes ambientais. A adição de materiais, como o etanol, o ácido cítrico e o PVP40, é a principal razão para os resultados obtidos.

Na categoria de OF é visível uma contribuição mais significativa do processo de EAU (7 %), podendo ser explicada pela emissão para o ar de solventes, como o etanol, neste processo.

Como foi possível verificar para os restantes ingredientes analisados, do ponto de vista ambiental, o transporte de matéria-prima é a etapa menos significativa, representando menos de 0,1 % dos impactes em todos os *midpoints* analisados.

Tabela 8 - Quantificação dos impactes ambientais globais – extrato corante à base *C. longa* encapsulado; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	6,847E-01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,377E-07
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	4,062E-03
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	3,401E-03
<b>FE</b>	kg P eq	2,432E-04
<b>ME</b>	kg N eq	1,681E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	5,563E-01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	6,670E-02
<b>MRS</b>	kg Cu eq	9,109E-04
<b>FRS</b>	kg oil eq	2,152E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	3,843E-03

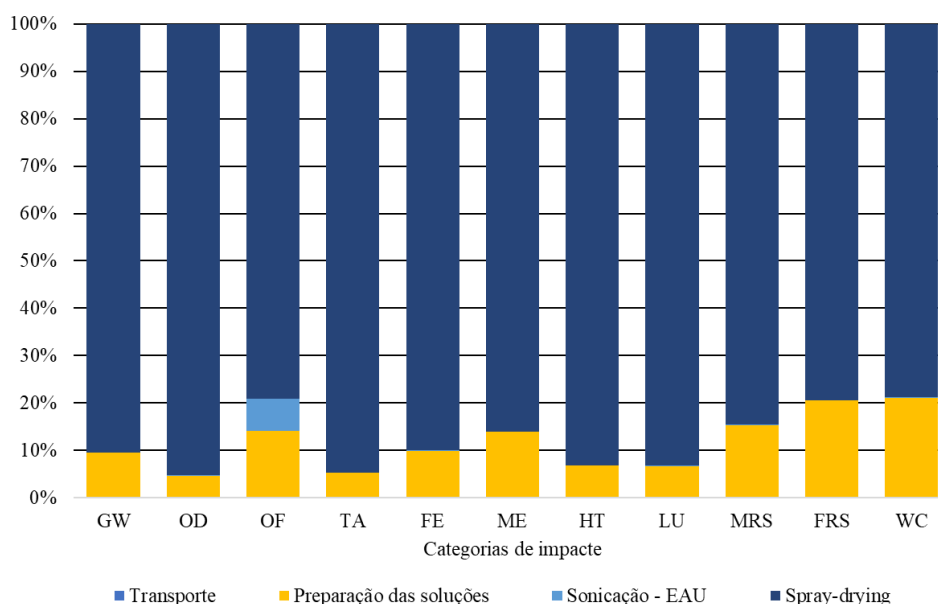


Figura 17 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise (extrato corante à base de *C. longa* encapsulado)

De modo a comparar o desempenho ambiental dos diferentes processos de extração dos extratos corantes à base de *C. longa*, a Figura 18 apresenta os impactes relativos do

extrato corante à base de *C. longa* encapsulado em relação ao extrato corante à base de *C. longa*. Conclui-se que o processo de obtenção do extrato encapsulado apresenta impactes ambientais bastante menores, em cerca de 99 %, em todas as categorias de impacte, quando comparado com o processo alternativo.

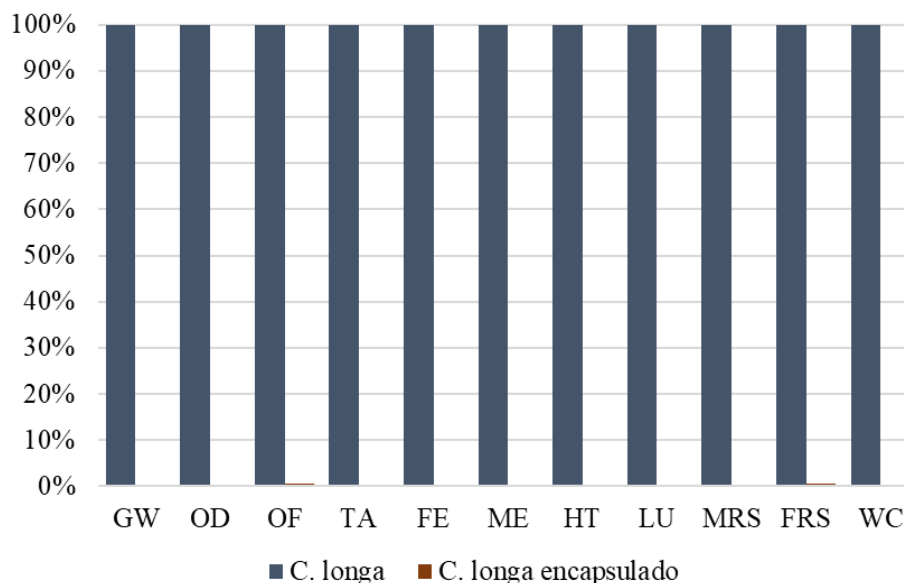


Figura 18 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos para os extratos corantes à base de *C. longa* e de *C. longa* encapsulado

## ii. Aromas Naturais

Como o processo de obtenção por extração por fluido supercrítico (SFE) do extrato aromático à base de *R. officinalis* se trata de um processo simples, contendo apenas dois processos unitários, optou-se por analisar os impactes ambientais de cada componente utilizado na SFE (eletricidade, CO<sub>2</sub> e filtro de celulose). A etapa do transporte foi incluída, também, na análise. De recordar que foi considerada matéria-prima quer fresca, quer desidratada.

Na Tabela 9 encontram-se os impactes globais do processo de obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis* para os dois tipos de matéria-prima referentes ao Cenário A. Na Figura 19 é possível observar os impactes relativos do transporte da matéria-prima e dos componentes intervenientes no processo de extração por fluido supercrítico, utilizando o CO<sub>2</sub> para os diferentes estados da amostra utilizada.

Ao analisar os resultados dos impactes ambientais obtidos para a obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis*, quer a partir da matéria-prima fresca, quer da desidratada, observa-se que a eletricidade é o fator predominante durante este processo. Em média, o consumo de energia por parte dos equipamentos utilizados no processo é

responsável por cerca de 90 % dos impactes ambientais observados nas categorias em análise. Por outro lado, o transporte e a celulose, apresentam um peso menor a 1 % em todos os *midpoints* analisados, com exceção da categoria de MRS, onde o recurso à celulose apresenta uma percentagem significativa (14 %). O CO<sub>2</sub> líquido, fluido utilizado no processo de extração, é responsável, em média, por cerca de 3 % dos impactes. Relativamente às emissões de CO<sub>2</sub>, é possível ser observado o seu impacte na categoria de GW. Este componente apresenta um peso aproximado de 4 % na categoria de impacte referida.

Tabela 9 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato aromático à base de *R. officinalis* fresco e desidratado – Cenário A; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	<i>R. officinalis</i> fresca	<i>R. officinalis</i> desidratada
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,514E+01	2,002E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	5,935E-06	7,847E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	7,955E-02	1,052E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	8,281E-02	1,095E-01
<b>FE</b>	kg P eq	5,938E-03	7,850E-03
<b>ME</b>	kg N eq	4,057E-04	5,364E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,629E+01	2,154E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,606E+00	3,445E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	3,170E-02	4,191E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,814E+00	5,042E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,603E-01	2,119E-01

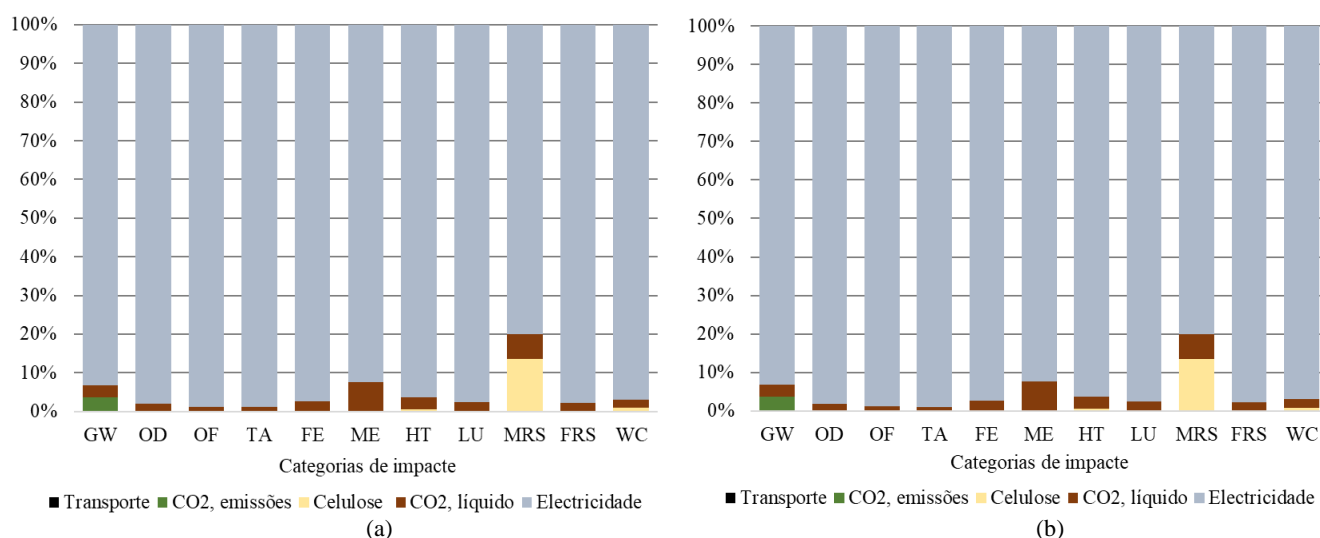


Figura 19 - Representação gráfica da contribuição de cada componente para cada categoria de impacte em análise – extrato aromático à base de *R. officinalis* fresco (a) e desidratado (b) – Cenário A

Ao comparar os resultados globais quantitativos (Tabela 9) verifica-se que o extrato obtido a partir da matéria-prima fresca apresenta valores ligeiramente inferiores ao extrato obtido através da matéria-prima desidratada em todas as categorias de impacto estudadas. Este facto pode ser explicado porque o processo de SFE-CO<sub>2</sub> para o extrato aromático à base de *R. officinalis* fresco apresenta um rendimento maior, isto é para obter a mesma unidade funcional (1 g de extrato), é necessário menos energia e consumíveis.

Atendendo à obtenção do extrato aromático à base de *R. officinalis* através do processo de hidrodestilação (HD) – Cenário B –, os resultados são apresentados na Tabela 10 e na Figura 20, quer para o extrato com origem na matéria-prima fresca, quer desidratada.

Ao analisar a Figura 20, pode concluir-se que os dados relativos para os dois extratos obtidos através da hidrodestilação são idênticos. A liofilização é o processo responsável pela maioria dos impactes ambientais observados em todas as categorias analisadas, apresentado uma percentagem média de 97 % dos impactes. Isto prende-se ao facto deste processo apresentar um consumo de uma grande quantidade de energia.

Tabela 10 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato aromático à base de *R. officinalis* fresco e desidratado – Cenário B; UF: 1 g de extrato

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b><i>R. officinalis</i> fresca</b>	<b><i>R. officinalis</i> desidratada</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	5,575E+02	2,667E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,297E-04	1,099E-04
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,104E+00	1,485E+00
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	3,233E+00	1,547E+00
<b>FE</b>	kg P eq	2,277E-01	1,089E-01
<b>ME</b>	kg N eq	1,471E-02	7,036E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	6,121E+02	2,929E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	9,949E+01	4,760E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	9,607E-01	4,599E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,474E+02	7,051E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	6,101E+00	2,918E+00

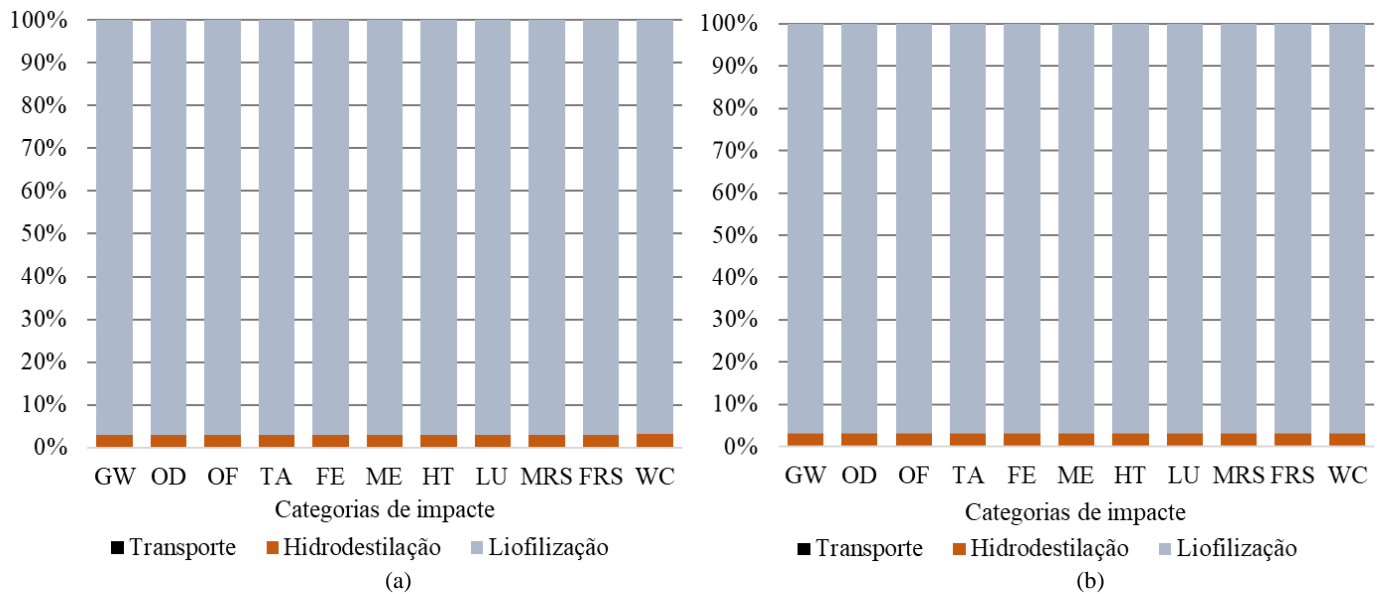


Figura 20 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacto em análise – extrato aromático à base de *R. officinalis* fresca (a) e desidratada (b) – Cenário B

Por outro lado, a etapa do transporte apresenta uma percentagem menor a 0,5 % nos impactes ambientais obtidos, para as categorias de análise assinaladas.

Comparando os resultados globais quantitativos obtidos para os dois extratos provenientes da matéria-prima fresca e desidratada (Tabela 10), pode-se verificar que, ao contrário dos resultados obtidos para o Cenário A, o extrato aromático à base de *R. officinalis* proveniente da matéria-prima desidratada apresenta menores impactes ambientais, em todas as categorias analisadas.

O fator dominante para os impactes ambientais observados é a eletricidade que, para o Cenário B, apresenta uma percentagem média de 99 % dos impactes globais verificados.

Uma vez que se verificou que o impacte ambiental provocado pelo processo de liofilização é muito elevado, comparativamente com a hidrodestilação, e que a quantidade de óleo essencial obtido pela desidratação do hidrolato é muito reduzida, o Cenário C, considera como produto o óleo essencial resultante da hidrodestilação sem o aproveitamento do hidrolato. Na Figura 21, pode-se observar a relação entre os resultados obtidos para o cenário B (100 %) com os resultados do cenário C.

O não aproveitamento do hidrolato revela ter uma contribuição positiva no ambiente, diminuindo os impactes ambientais em 97 % nas categorias em análise, quer para o extrato proveniente do *R. officinalis* fresco, quer do desidratado. Posto isto, do ponto de vista ambiental, a execução do processo de liofilização (valorização do hidrolato) não é viável.

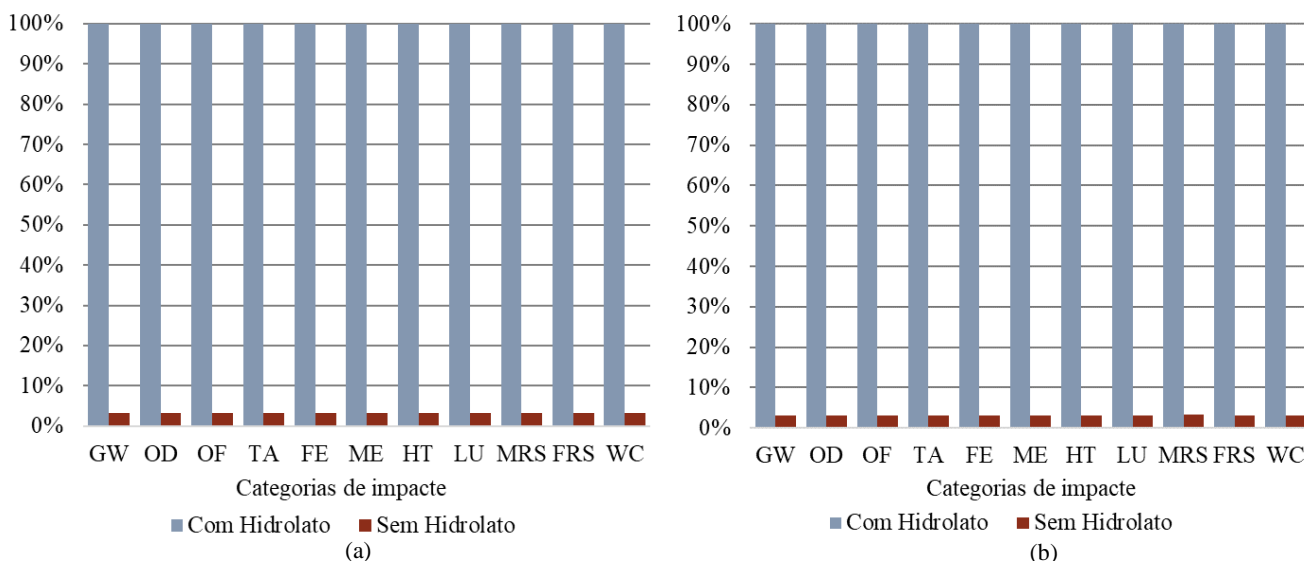


Figura 21 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos no cenário B com os obtidos no cenário C – extrato aromático proveniente da amostra fresca (a) e desidratada (b)

Na Tabela 11 apresenta-se um quadro resumo com todos os impactes globais obtidos para os diferentes cenários de extração mencionados anteriormente, de modo a permitir a comparação entre eles. Além disso, permite ainda a comparação dos impactes ambientais obtidos, quer para a amostra de *R. officinalis* fresca, quer para a desidratada.

Tabela 11 – Tabela resumo dos impactes globais observados para cada cenário e para a matéria-prima fresca e desidratada

Categoria de impacte	Unidade	Cenário A		Cenário B		Cenário C	
		Fresca	Desidratada	Fresca	Desidratada	Fresca	Desidratada
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,514E+01	2,002E+01	5,575E+02	2,667E+02	1,844E+01	8,433E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	5,935E-06	7,847E-06	2,297E-04	1,099E-04	7,620E-06	3,502E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	7,955E-02	1,052E-01	3,104E+00	1,485E+00	1,030E-01	4,743E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	8,281E-02	1,095E-01	3,233E+00	1,547E+00	1,066E-01	4,855E-02
<b>FE</b>	kg P eq	5,938E-03	7,850E-03	2,277E-01	1,089E-01	7,497E-03	3,409E-03
<b>ME</b>	kg N eq	4,057E-04	5,364E-04	1,471E-02	7,036E-03	4,857E-04	2,209E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,629E+01	2,154E+01	6,121E+02	2,929E+02	2,032E+01	9,374E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,606E+00	3,445E+00	9,949E+01	4,760E+01	3,285E+00	1,501E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	3,170E-02	4,191E-02	9,607E-01	4,599E-01	3,207E-02	1,494E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,814E+00	5,042E+00	1,474E+02	7,051E+01	4,879E+00	2,236E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,603E-01	2,119E-01	6,101E+00	2,918E+00	2,043E-01	9,269E-02

Para o Cenário A, é possível verificar que o extrato obtido a partir da amostra de *R. officinalis* fresca apresenta um melhor desempenho ambiental, comparativamente ao extrato obtido a partir da amostra desidratada.

Por outro lado, no caso dos extratos obtidos através do processo de hidrodestilação, quer com aproveitamento do hidrolato, quer sem aproveitamento (cenários B e C, respetivamente), os produtos obtidos a partir da amostra desidratada apresentam impactes ambientais mais reduzidos, logo melhor desempenho ambiental.

Os extratos aromáticos obtidos a partir dos diferentes processos apresentam várias moléculas, ou princípios ativos, na sua constituição. Na amostra estudada, os três componentes maioritários que se observaram foram:  $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona. Posto isto, decidiu-se realizar o estudo da extração destes princípios ativos em separado para verificar se a tendência dos resultados se mantinha. Deste modo, para analisar os impactes ambientais resultantes do processo de extração de cada componente maioritário, recorreu-se ao inventário inicial dos diferentes processos: Cenário A – extração por fluido supercrítico; Cenário B – extração por hidrodestilação com aproveitamento do hidrolato; Cenário C – extração por hidrodestilação sem aproveitamento do hidrolato. De seguida, foram substituídos os valores da massa de extrato final pela massa de cada componente obtido para cada experiência e recalculados os diferentes valores para a nova UF – 1 g de componente (ex.: 1 g de  $\alpha$ -pineno). Na Figura 22, pode-se observar os valores de impacte obtidos para a categoria de aquecimento global (GW) e os respetivos fatores de acréscimo de impacte para cada componente analisado, em relação aos cenários de extração de 1 g de extrato anteriormente descritos.

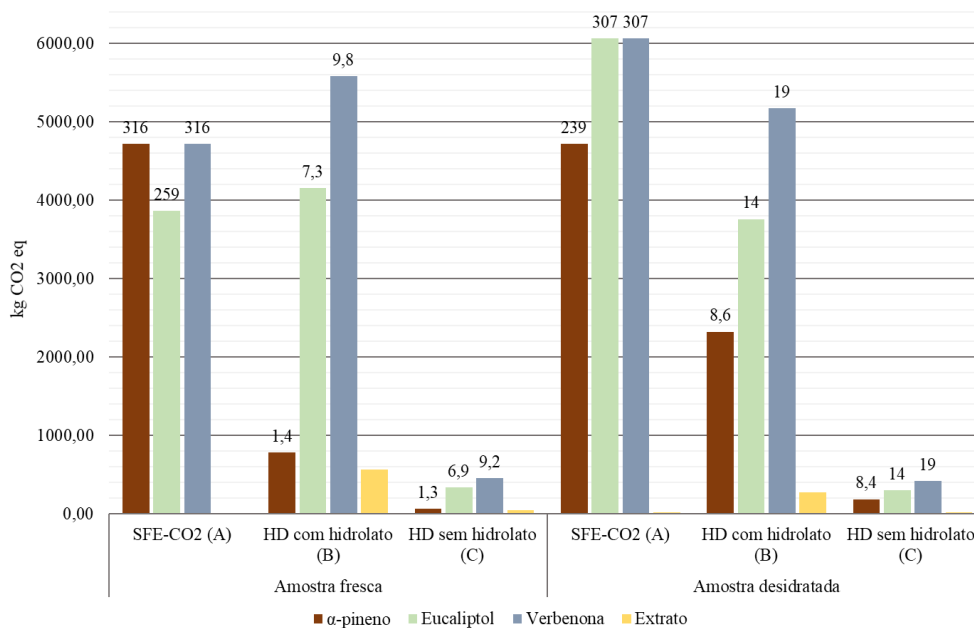


Figura 22 – Impactes ambientais obtidos para a categoria de GW e fatores de acréscimo de impacte para os diferentes compostos ativos e cenários em análise



Assim, a título de exemplo, para obter 1 g de  $\alpha$ -pineno através do método de extração por fluido supercrítico (Cenário A), são emitidos 4 787 kg de CO<sub>2</sub>-eq, aproximadamente um fator de 316 (para a amostra fresca) e de 259 (para a amostra desidratada) vezes mais das emissões resultantes do processo equivalente para a obtenção de 1 g de extrato. Ou seja, para produzir 1 g desta substância ativa, é necessário processar 316 g de extrato proveniente da amostra fresca ou 259 g de extrato proveniente da amostra desidratada. Para o cenário A, este incremento nos impactes ambientais é mais acentuado (cerca de 50 vezes mais) que nos restantes cenários. Os restantes impactes ambientais quantitativos afetos aos diferentes componentes para todas as categorias de impacte em análise podem ser consultados no Anexo II.

Conclui-se que a tendência para os resultados obtidos para a UF de 1 g de extrato não se mantém. Para a UF de 1 g de componente, o processo que apresenta maiores impactes ambientais é o processo de SFE-CO<sub>2</sub> (Cenário A). Por outro lado, o processo com melhor desempenho ambiental é o processo de hidrodestilação sem recuperação do hidrolato (Cenário C).

### iii. Bioativos Naturais

Na Tabela 12 é possível observar os impactes ambientais globais obtidos para o processo de obtenção do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol. Posteriormente, na Figura 23 estão representadas as contribuições relativas de cada processo para todas as categorias de impacte ambiental analisadas.

Tabela 12 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,668E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	6,971E-07
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,088E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	9,187E-03
<b>FE</b>	kg P eq	6,568E-04
<b>ME</b>	kg N eq	5,966E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,742E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,787E-01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,998E-03
<b>FRS</b>	kg oil eq	4,875E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,913E-02

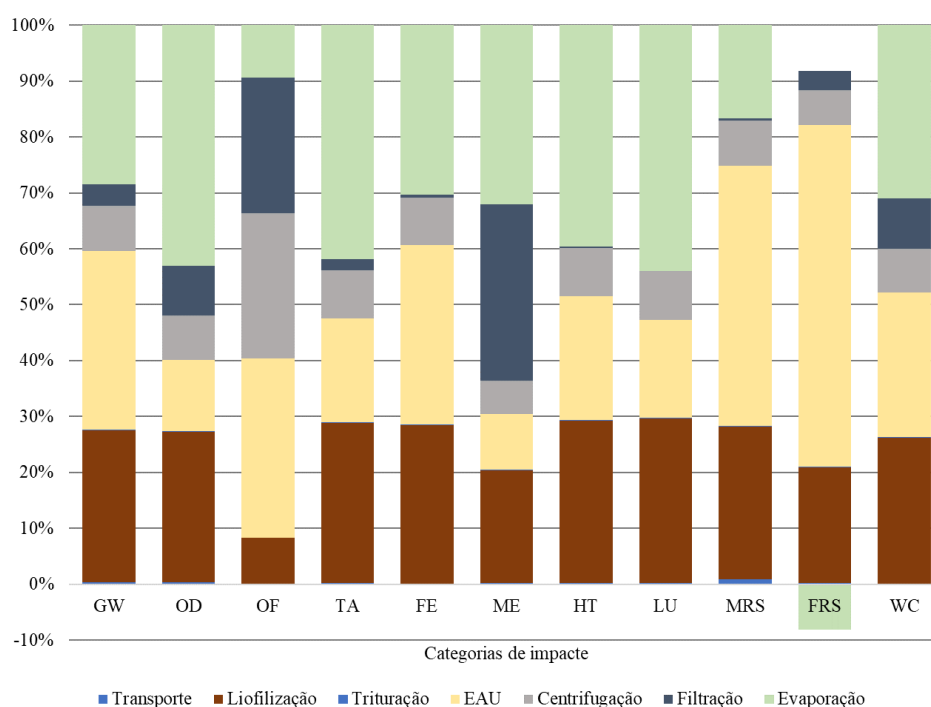


Figura 23 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacto em análise (extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol)

Relativamente aos resultados obtidos para o extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol, pode observar-se que os processos com maior impacto ambiental são a liofilização, a extração assistida por ultrassons (EAU) e a evaporação. Estes, são responsáveis por cerca de 25 %, 28 % e 29 % dos impactes, respetivamente.

Os processos de liofilização e evaporação são responsáveis pela maioria dos impactes em cinco categorias em análise – OD, TA, ME, HT, LU, WC. Estes, apresentam um maior consumo energético por parte dos equipamentos utilizados, estando os seus impactes relacionados com a produção e distribuição de energia.

O processo de EAU apresenta uma contribuição maior, relativamente aos processos apresentados anteriormente, nos impactes ambientais observados para as categorias de GW, OF, FE, MRS e FRS. Este facto pode ser justificado pelo uso do etanol como solvente nesta fase do processo de obtenção do extrato. Ao observar a Figura 23, pode verificar-se uma percentagem negativa (-10 %, aproximadamente) no processo de evaporação, na categoria de FRS, que pode ser explicado pelo facto de haver a recuperação do solvente (etanol). Este, volta à esfera tecnológica permitindo a sua reutilização, reduzindo os impactes ambientais provocados pela sua utilização.

Por outro lado, as etapas menos significativas são o transporte e a trituração que apresentam um peso, em todas as categorias de impacte ambiental, inferior a 1 %.

Relativamente ao extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, na Tabela 13 encontram-se apresentados os impactes ambientais globais obtidos para o seu processo de extração relativos ao Cenário 1. Na Figura 24, é possível observar as contribuições relativas de cada processo unitário para todas as categorias de impacte (*midpoints*) analisadas.

Tabela 13 - Quantificação dos impactes ambientais globais - extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1); UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Quantidade
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	2,788E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,206E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	2,508E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,591E-02
<b>FE</b>	kg P eq	1,108E-03
<b>ME</b>	kg N eq	9,508E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	3,062E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	4,858E-01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	4,947E-03
<b>FRS</b>	kg oil eq	7,615E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	3,192E-02

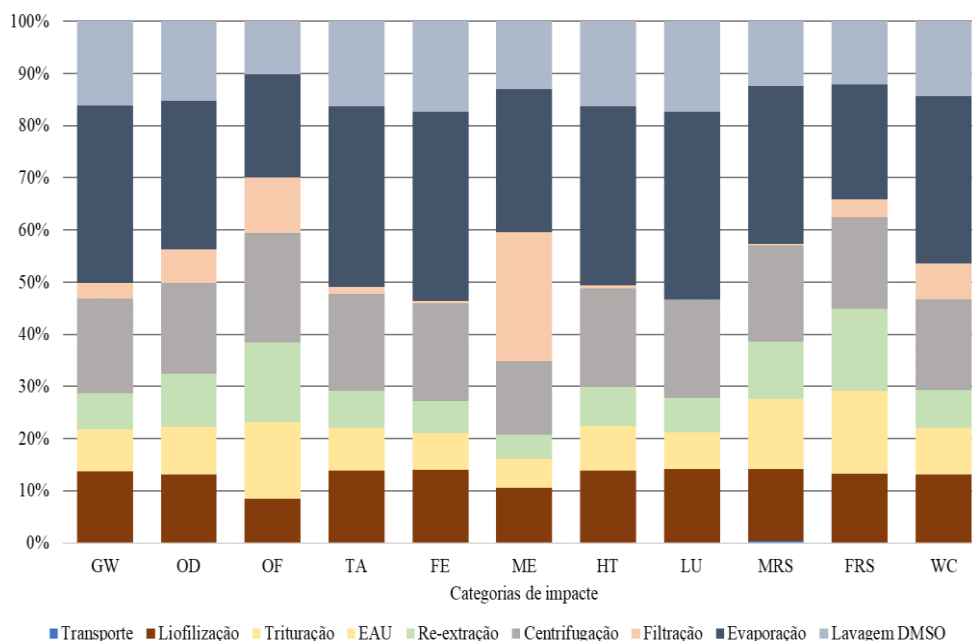


Figura 24 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise – extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1)

É possível verificar, através da Figura 24, que os processos com maior contribuição para os impactes ambientais obtidos são a evaporação, a centrifugação e a lavagem do

DMSO em cerca de 30 %, 18 % e 15 %, respetivamente, que são os processos com maior consumo energético. Neste caso, o processo de centrifugação é realizado sempre após cada extração, por isso ganha uma maior expressão quando comparado com os resultados obtidos para o extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol. Apesar de haver a recuperação de solventes, na evaporação e na Lavagem do DMSO, os impactos destes processos são significativos. Assim, também para o extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, o fator dominante para os impactos ambientais observados, é a energia consumida pelos equipamentos. Uma vez mais, a liofilização também é responsável por impactos significativos, cerca de 13 % dos impactos globais obtidos.

A extração assistida por ultrassons (EAU) e a re-extração, assumem uma maior expressão nas categorias de OF (15 %) e FRS (16 %) devido ao uso e perdas dos vários solventes nestas etapas.

No caso do processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 1), não é possível verificar-se a contribuição positiva (percentagem negativa) para os impactos ambientais da recuperação dos solventes porque os impactos provocados por outros fatores (ex.: energia) apresentam uma maior relevância.

Os processos de transporte, irradiação UV e trituração apresentam um peso menor a 1 % em todas as categorias de impacto analisadas.

Os impactos ambientais obtidos para o Cenário 2 do processo de produção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> são apresentados na Tabela 14 e na Figura 25, seguindo o exemplo dos restantes ingredientes analisados.

Tabela 14 - Quantificação dos impactos ambientais globais - extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2); UF: 1 g de extrato

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,656E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	6,939E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	1,019E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	9,511E-02
<b>FE</b>	kg P eq	6,688E-03
<b>ME</b>	kg N eq	4,981E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,812E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,932E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,954E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	4,408E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,852E-01

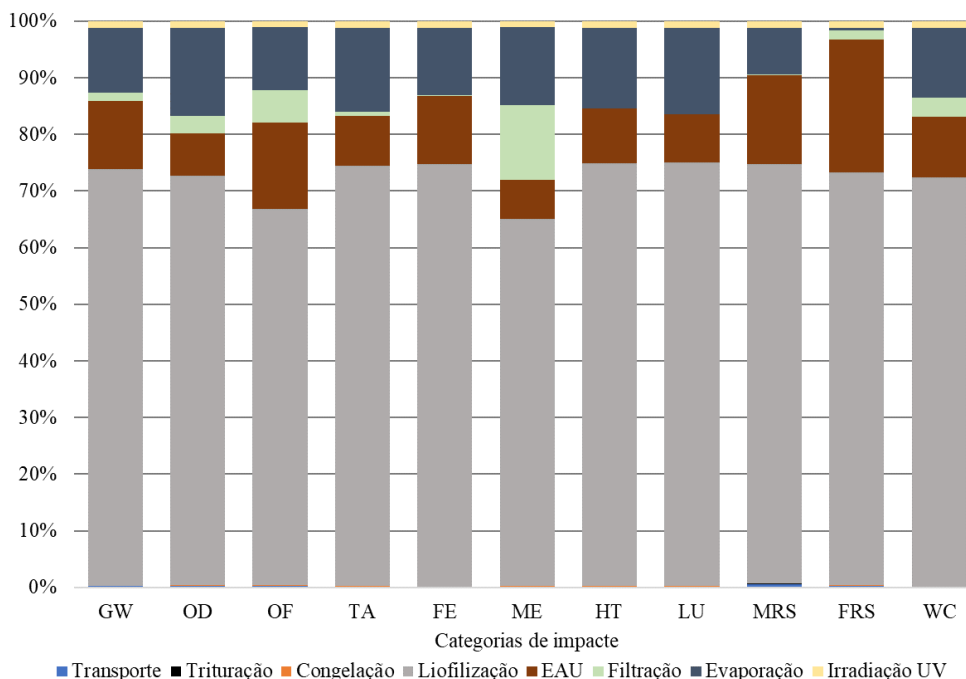


Figura 25 - Representação gráfica da contribuição de cada etapa para cada categoria de impacte em análise – extrato enriquecido em Vitamina D2 (Cenário 2)

A liofilização é o processo com maior impacte ambiental, representando cerca de 72 % dos mesmos, seguindo-se da extração (12 %) e evaporação (12 %). Uma vez mais, os processos com maior impacte são os que apresentam um maior consumo energético. O impacte considerável do processo de extração, principalmente nas categorias de OF (15 %) e FRS (23 %), deve-se ao uso do etanol como solvente.

Por outro lado, o transporte, a trituração, a congelação e a irradiação UV, são as etapas que apresentam menor contribuição para os impactes ambientais das categorias analisadas (menos de 2 %).

Por fim, de notar que, a eletricidade é o fator dominante para os impactes ambientais observados em todas as categorias estudadas para os extratos bioativos em análise, sendo responsável por uma percentagem aproximada de 84 % e 92 % e 97 % para o extrato enriquecido em micosteróis (Ergosterol), para o extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (cenários 1) e extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2), respetivamente.

Ao comparar os dois métodos extrativos (Figura 26), pode verificar-se que, em relação ao cenário 1, o cenário 2 apresenta impactes ambientais mais elevados em todas as categorias em análise.

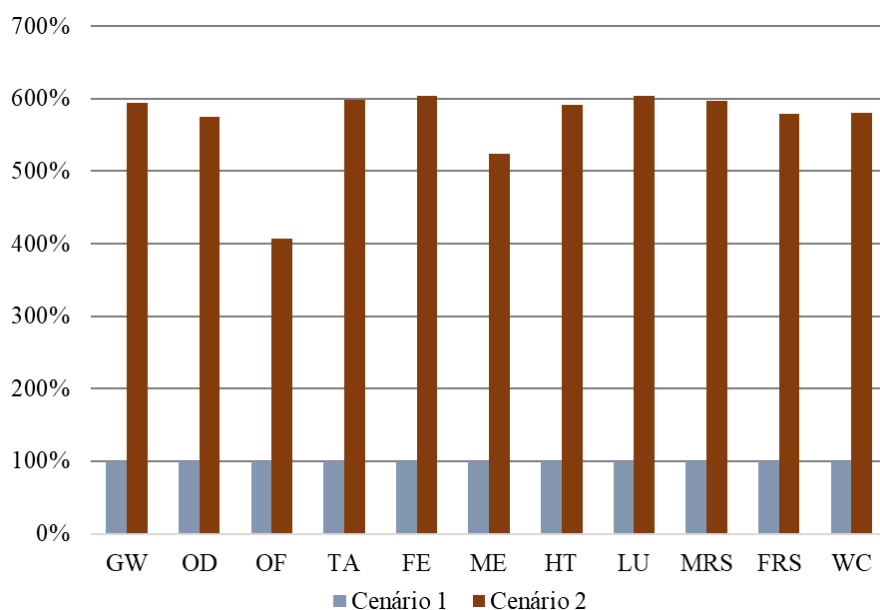


Figura 26 - Comparação relativa dos impactes ambientais obtidos nos processos (cenários 1 e 2) – extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>

Este facto deve-se essencialmente ao consumo de eletricidade, uma vez que é o principal fator para os impactes observados. Para produzir a mesma quantidade de extrato final (1 g de extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>), é necessária mais energia para o cenário 2 (40,0 kWh) do que para o cenário 1 (6,61 kWh), refletindo-se no seu desempenho ambiental.

#### 4. Conclusão

Neste estudo de ACV, foi avaliado o desempenho ambiental do processo de obtenção de diferentes ingredientes naturais (corantes, aromas e bioativos), a uma escala laboratorial, para a sua futura incorporação em produtos alimentares.

Em geral, no processo de obtenção dos corantes, os processos de secagem/desidratação dos extratos e que apresentam um maior consumo energético (*spray-drying* e liofilização) são as etapas que apresentam maiores impactes ambientais. Por outro lado, a etapa do transporte das diferentes matérias-primas revelou ser uma fase com impactes ambientais pouco significativos, apresentado uma contribuição média menor a 0,5% em todos os extratos obtidos.

Relativamente ao extrato aromático à base de *R. officinalis*, analisou-se o desempenho ambiental de três cenários distintos: A- extração por fluido supercrítico (SFE); B- hidrodestilação com aproveitamento do hidrolato; C - Hidrodestilação sem aproveitamento do hidrolato. Concluiu-se que o cenário A apresenta os valores de impacte inferiores para os dois tipos de amostra (fresca e desidratada) na generalidade dos *midpoints* analisados, comparativamente com os restantes cenários. No estudo comparativo entre o aproveitamento, ou não, do hidrolato obtido na hidrodestilação, o processo de desidratação deste subproduto revelou ter um grande peso nos impactes ambientais observados em todas as categorias. Deste modo, uma vez que também o óleo essencial recuperado após a desidratação (por liofilização) do hidrolato é muito reduzido, quando comparado com a quantidade de óleo essencial obtido por hidrodestilação, não se considera viável a execução do processo de liofilização do ponto de vista ambiental. Adicionalmente, foi realizado o estudo dos impactes ambientais do processo extrativo dos três princípios ativos maioritários ( $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona) que faziam parte da composição dos extratos obtidos. Ao contrário dos resultados obtidos para a UF de 1 g de extrato, o Cenário A apresenta valores de impacte muito superiores aos Cenários B e C.

Ao analisar os resultados obtidos para os processos de extração dos bioativos naturais, pode observar-se que, em geral, os processos unitários com maior impacte ambiental são os que apresentam um maior consumo energético (liofilização, evaporação e lavagem do DMSO).

Os solventes utilizados nos extratos: extrato à base de *H. sabdariffa*, extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol, e extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub>, revelaram apresentar impactes significativos em algumas categorias de

analisadas, nomeadamente OD, OF, HT, MRS e FRS. Contudo, estes impactes são mitigados pelo processo de evaporação onde os solventes são recuperados, permitindo a sua reutilização em processos posteriores.

Conclui-se que o fator que contribui em maior escala para os impactes ambientais observados é a eletricidade, apresentando um peso médio de mais de 80 % em todos os compostos naturais avaliados. É de esperar que estes processos apresentem uma grande sensibilidade ao *mix* energético utilizado para a produção dos extratos naturais. Posto isto, a utilização de energia proveniente essencialmente de fontes renováveis (ex.: painéis fotovoltaicos) pode apresentar uma contribuição relevante para a mitigação dos impactes ambientais associados ao processo de obtenção de todos os extratos naturais em análise no âmbito do projeto ValorNatural®. Outros fatores, como a otimização da capacidade dos equipamentos, por exemplo, podem ser considerados para melhorar o desempenho ambiental dos processos de extração dos aditivos estudados.



## 5. Referências

- [1] H. Monteiro, B. Moura, M. Iten, T. M. Mata, and A. A. Martins, “Life cycle energy and carbon emissions of ergosterol from mushroom residues,” *Energy Reports*, vol. 6, no. xxxx, pp. 1–5, 2021, doi: 10.1016/j.egy.2020.11.157.
- [2] S. Ramos *et al.*, *Cleaner production strategies for the food industry*. 2020.
- [3] A. Del Borghi, L. Moreschi, and M. Gallo, *Life cycle assessment in the food industry*. Elsevier Inc., 2020.
- [4] ISO, “ISO 14040 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework.” 2006.
- [5] ISO, “ISO 14044 Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines.” 2010.
- [6] R. D. Schlanbusch, B. P. Jelle, L. I. Christie Sandberg, S. M. Fufa, and T. Gao, “Integration of life cycle assessment in the design of hollow silica nanospheres for thermal insulation applications,” *Build. Environ.*, vol. 80, pp. 115–124, 2014, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.05.010.
- [7] PRé Sustainability B. V., “Simapro Database Manual - Methods,” 2020. [Online]. Available: <http://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>.

## 6. Anexos

### I. Tabelas de Inventário

 Tabela 15 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *H. sabdariffa*; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,2864	4,773E-04
<b>Congelação</b>	Eletricidade	kWh	0,8850	1,475E-03
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	0,1120	3,733E-04
<b>Extração</b>	Eletricidade	kWh	0,0400	0,1333
	Etanol	g	37,87	126,2
	Água	g	11,96	39,88
	Emissões para o ar (Etanol)	g	1,136	3,787
	Resíduos sólidos	g	0,5000	1,667
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	8,967
	Resíduo sólido	g	2,758	9,192
	Emissões para o ar (Etanol)	g	1,136	3,787
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	2,333
	Solvente Recuperado (Etanol)	g	35,60	118,67
<b>Spray-Drying</b>	Eletricidade	kWh	5,000	16,67
	Maltodextrina	g	0,1000	0,3333
	Resíduo sólido/vapor de água	g	8,364	27,88

 Tabela 16 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *S. nigra*; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	5,200E-03	2,708E-05
<b>Congelação</b>	Eletricidade	kWh	0,8850	4,609E-03
<b>Extração</b>	Eletricidade	kWh	0,0233	2,431E-04
	Resíduo sólido	g	20,00	0,2083
<b>Centrifugação</b>	Eletricidade	kWh	0,3500	3,646E-03
	Resíduo sólido	g	506,3	5,274
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	0,0280
	Resíduo sólido	g	313,7	3,268
<b>Spray-Drying</b>	Eletricidade	kWh	5,000	0,0521
	Maltodextrina	g	32,00	0,3333
	Resíduo sólido/vapor de água	g	96,00	1,000

Tabela 17 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *G. globosa*; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,6320	1,016E-02
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	0,112	3,60E-03
<b>Extração</b>	Eletricidade	kWh	0,040	0,2573
	Água	g	997,0	6413
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	17,30
	Resíduo sólido	g	4,684	30,13
<b>Spray-Drying</b>	Eletricidade	kWh	5,000	32,16
	Maltodextrina	g	6,320E-02	0,4065
	Resíduo sólido/vapor de água	g	997,2	6414

 Tabela 18 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *B. orellana*; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	2,777	1,559E-01
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	0,0583	3,275E-03
<b>EAU</b>	Eletricidade	kWh	0,0500	0,2807
	Etanol	g	31,18	175,1
	Água	g	10,47	58,78
	Emissões para o ar (Etanol)	g	0,6235	3,501
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	15,10
	Resíduo Sólido	g	0,8219	4,615
	Emissões para o ar (Etanol)	g	0,6235	3,501
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	3,930
	Solvente Recuperado (Etanol)	g	29,93	168,1
<b>Congelação</b>	Eletricidade	kWh	0,0245	0,1378
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	100,0	561,5
	Vapor de Água	g	10,47	58,78

Tabela 19 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *C. longa*; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	2,900E-04	1,381E-05
<b>EAU</b>	Eletricidade	kWh	0,0583	0,1709
	Etanol	g	11,35	33,25
	Água	g	10,59	31,04
	Emissões para o ar (Etanol)	g	0,2269	0,6650
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	7,883
	Resíduo Sólido	g	1,284	3,762
	Emissões para o ar (Etanol)	g	0,2269	0,6650
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	2,051
	Solvente Recuperado (Etanol)	g	10,89	31,92
<b>Congelação</b>	Eletricidade	kWh	0,0245	0,0719
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	100,0	293,0
	Vapor de Água	g	10,59	31,04

 Tabela 20 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *C. longa* encapsulado; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	1,450E-04	1,816E-07
<b>Preparação das soluções tampão e aquosa</b>	Eletricidade	kWh	0,5250	0,0110
	Etanol	g	1973	41,18
	Água	g	2493	52,01
	Ácido Cítrico	g	6,920	0,1444
	Citrato de Sódio	g	62,92	1,313
	PVP40	g	20,00	0,4174
	Tween80	g	3,000	0,0626
	Emissões para o ar (Etanol)	g	39,47	0,8236
<b>Sonicação (EAU)</b>	Eletricidade	kWh	0,0833	0,0017
	Emissões para o ar (Etanol)	g	39,47	0,8236
<b>Spray-drying</b>	Eletricidade	kWh	53,75	1,122
	Azoto	g	11,00	0,2300
	Resíduo sólido	g	47,92	1,000
	Resíduo líquido	g	4387	91,54

Tabela 21 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* fresco – Cenário A; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	1,704E-02
<b>SFE – CO<sub>2</sub></b>	Eletricidade	kWh	27,14	34,79
	CO <sub>2</sub>	g	438,4	562,0
	Filtro de celulose	g	4,855	6,224
	Resíduo sólido	g	29,22	37,46

 Tabela 22 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* desidratado – Cenário A; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	2,253E-02
<b>SFE – CO<sub>2</sub></b>	Eletricidade	kWh	27,14	46,00
	CO <sub>2</sub>	g	438,4	743,0
	Filtro de celulose	g	4,855	8,228
	Resíduo sólido	g	29,41	49,85

 Tabela 23 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* fresco – Cenário B; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	5,520E-02
<b>Hidrodestilação</b>	Eletricidade	kWh	9,090	41,32
	Água desionizada	g	747,8	3399
	Vapor de Água	g	398,8	1813
	Resíduo líquido (Água)	g	348,6	1585
	Resíduo sólido	g	26,86	122,1
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	288,0	1309
	Vapor de Água	g	0,3310	1,505

 Tabela 24 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* desidratado – Cenário B; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	7,223E-02
<b>Hidrodestilação</b>	Eletricidade	kWh	9,090	19,76
	Água desionizada	g	747,8	1626
	Vapor de Água	g	398,8	867,0
	Resíduo líquido (Água)	g	348,9	758,4
	Resíduo sólido	g	74,45	161,9
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	288,0	626,1
	Vapor de Água	g	0,089	0,1935

Tabela 25 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* fresco – Cenário C; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	5,924E-02
<b>Hidrodestilação</b>	Eletricidade	kWh	9,090	44,34
	Água desionizada	g	747,8	3648
	Vapor de Água	g	398,8	1945
	Resíduo líquido (Água)	g	348,6	1701
	Resíduo sólido	g	26,86	131,0
	Hidrolato	g	0,3460	1,688

 Tabela 26 - Inventário do processo de obtenção do extrato à base de *R. officinalis* desidratado – Cenário C; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha comercial ligeira	tkm	0,4430	7,334E-02
<b>Hidrodestilação</b>	Eletricidade	kWh	9,090	20,07
	Água desionizada	g	747,8	1651
	Vapor de Água	g	398,8	880,4
	Resíduo líquido (Água)	g	348,6	770,1
	Resíduo sólido	g	74,45	164,4
	Hidrolato	g	0,096	0,2119

Tabela 27 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha Refrigerada	tkm	8,720	7,868E-03
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	24,84	1,121
	Vapor de água	g	810,0	36,54
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	1,120E-01	5,053E-03
<b>EAU</b>	Eletricidade	kWh	9,375E-02	0,2679
	Etanol	g	118,4	338,3
	Emissões para o ar (Etanol)	g	7,893	22,55
<b>Centrifugação</b>	Eletricidade	kWh	0,1167	0,3333
	Resíduo sólido	g	1,000	2,857
	Emissões para o ar (Etanol)	g	7,893	22,55
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	7,686
	Resíduo Sólido	g	1,650	4,714
	Emissões para o ar (Etanol)	g	7,893	22,55
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	2,000
	Solvente Recuperado (Etanol)	g	94,72	270,6

Tabela 28 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (cenário 1); UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha Refrigerada	tkm	8,720	6,556E-03
<b>Irradiação UV</b>	Eletricidade	kWh	0,1330	5,000E-03
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	24,84	0,9338
	Vapor de água	g	810,0	30,45
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	0,1120	4,211E-03
<b>EAU</b>	Eletricidade	kWh	9,375E-02	0,3348
	Hexano	g	13,21	47,19
	Metanol	g	7,866	28,09
	DMSO	g	10,96	39,13
	Hexano Retirado	g	6,606	23,59
	Emissões para o ar (Hexano)	g	1,652	5,898
	Emissões para o ar (Metanol)	g	0,3933	1,405
<b>Re-extração</b>	Eletricidade	kWh	9,375E-02	0,3348
	Hexano	g	26,42	94,37
	Emissões para o ar (Hexano)	g	1,652	5,898
	Emissões para o ar (Metanol)	g	0,3933	1,405
<b>Centrifugação</b>	Eletricidade	kWh	0,3500	1,250
	Resíduo sólido	g	1,000	3,571
	Emissões para o ar (Hexano)	g	1,652	5,898
	Emissões para o ar (Metanol)	g	0,3933	1,405
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	9,607
	Resíduo Sólido	g	0,7200	2,571
	Emissões para o ar (Hexano)	g	1,652	5,898
	Emissões para o ar (Metanol)	g	0,3933	1,405
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	2,500
	Solvente Recuperado (Hexano)	g	26,42	94,37
	Solvente Recuperado (Metanol)	g	6,293	22,47
<b>Lavagem do DMSO</b>	Eletricidade	kWh	0,3500	1,250
	Acetato de Etilo	g	18,04	64,43
	Solvente Recuperado (DMSO)	g	10,96	39,13

Tabela 29 - Inventário do processo de obtenção do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (cenário 2); UF: 1 g de extrato

Processo	Input/Output	Unidade	Quantidade	Quantidade/UF
<b>Transporte</b>	Carrinha Refrigerada	tkm	8,720	5,232E-02
<b>Trituração</b>	Eletricidade	kWh	0,0583	0,0175
<b>Congelação</b>	Eletricidade	kWh	0,0982	0,0295
<b>Liofilização</b>	Eletricidade	kWh	100,0	30,00
	Vapor de água	g	900,0	270,0
<b>EAU</b>	Eletricidade	kWh	0,2500	2,500
	Etanol	g	78,93	789,3
	Emissões para o ar (Etanol)	g	1,579	15,79
<b>Filtração</b>	Filtro de Nylon	g	2,690	26,90
	Resíduo Sólido	g	2,900	29,00
	Emissões para o ar (Etanol)	g	1,579	15,79
<b>Evaporação</b>	Eletricidade	kWh	0,7000	7,000
	Solvente Recuperado (Etanol)	g	75,77	757,7
<b>Irradiação UV</b>	Eletricidade	kWh	0,050	0,500



## II. Tabelas de resultados

Tabela 30 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *H. sabdariffa*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Congelação	Trituração	Extração	Filtração	Evaporação	Spray-drying	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	8,874E-04	6,088E-04	1,541E-04	2,129E-01	7,740E-02	8,150E-01	6,880E+00	7,987E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	5,508E-10	2,508E-10	6,347E-11	3,911E-08	7,309E-08	3,814E-07	2,836E-06	3,330E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	8,202E-06	3,390E-06	8,579E-07	2,285E-03	1,493E-03	4,650E-03	3,830E-02	4,674E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	3,076E-06	3,531E-06	8,938E-07	7,206E-04	2,194E-04	5,210E-03	3,990E-02	4,606E-02
<b>FE</b>	kg P eq	1,629E-07	2,487E-07	6,295E-08	8,455E-05	4,066E-06	3,351E-04	2,811E-03	3,235E-03
<b>ME</b>	kg N eq	1,144E-08	1,606E-08	4,066E-09	2,596E-06	2,197E-05	2,435E-05	1,819E-04	2,309E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,833E-03	6,683E-04	1,692E-04	1,595E-01	6,240E-03	9,641E-01	7,552E+00	8,684E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	1,510E-04	1,086E-04	2,750E-05	2,073E-02	1,219E-04	1,616E-01	1,243E+00	1,426E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	4,344E-06	1,049E-06	2,655E-07	5,421E-04	1,790E-05	1,239E-03	1,185E-02	1,366E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	2,922E-04	1,609E-04	4,073E-05	1,369E-01	2,413E-02	1,396E-01	1,818E+00	2,120E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	2,550E-06	6,660E-06	1,686E-06	2,042E-03	2,030E-03	9,221E-03	7,527E-02	8,857E-02

Tabela 31 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *S. nigra*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Congelação	Extração	Centrifugação	Filtração	Spray-drying	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	5,035E-05	1,903E-03	1,003E-04	1,505E-03	2,419E-04	2,194E-02	2,574E-02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	3,125E-11	7,836E-10	4,132E-11	6,198E-10	2,284E-10	1,082E-08	1,253E-08
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	4,654E-07	1,059E-05	5,585E-07	8,378E-06	8,537E-07	1,219E-04	1,428E-04
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,745E-07	1,104E-05	5,819E-07	8,728E-06	6,857E-07	1,285E-04	1,497E-04
<b>FE</b>	kg P eq	9,241E-09	7,772E-07	4,098E-08	6,148E-07	1,271E-08	8,951E-06	1,041E-05
<b>ME</b>	kg N eq	6,493E-10	5,020E-08	2,647E-09	3,970E-08	6,866E-08	9,884E-07	1,150E-06
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,040E-04	2,089E-03	1,101E-04	1,652E-03	1,938E-05	2,385E-02	2,782E-02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	8,566E-06	3,395E-04	1,790E-05	2,685E-04	3,810E-07	1,941E-02	2,004E-02
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,465E-07	3,278E-06	1,728E-07	2,592E-06	5,594E-08	4,044E-05	4,678E-05
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,658E-05	5,029E-04	2,652E-05	3,978E-04	7,539E-05	5,794E-03	6,813E-03
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,447E-07	2,081E-05	1,097E-06	1,646E-05	6,343E-06	2,453E-04	2,901E-04

Tabela 32 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *G. globosa*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Trituração	Extração	Filtração	Spray-drying	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,889E-02	1,487E-03	1,616E-01	1,494E-01	1,328E+01	1,361E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,173E-08	6,124E-10	6,640E-08	1,410E-07	5,470E-06	5,690E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	1,746E-04	8,277E-06	7,952E-04	5,272E-04	7,391E-02	7,541E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	6,549E-05	8,623E-06	7,465E-04	4,234E-04	7,700E-02	7,824E-02
<b>FE</b>	kg P eq	3,467E-06	6,074E-07	4,341E-05	7,845E-06	5,423E-03	5,478E-03
<b>ME</b>	kg N eq	2,436E-07	3,923E-08	5,175E-06	4,240E-05	3,507E-04	3,986E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	3,903E-02	1,632E-03	1,172E-01	1,197E-02	1,457E+01	1,474E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	3,214E-03	2,653E-04	1,895E-02	2,353E-04	2,388E+00	2,411E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	9,249E-05	2,561E-06	1,910E-04	3,454E-05	2,287E-02	2,319E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	6,220E-03	3,930E-04	3,619E-02	4,655E-02	3,509E+00	3,598E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	5,430E-05	1,626E-05	7,733E-03	3,916E-03	1,452E-01	1,569E-01

Tabela 33 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *B. orellana*; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Trituração	Extração	Filtração	Evaporação	Congelação	Liofilização	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	6,446E-02	1,345E-03	3,350E-01	1,305E-01	1,413E+00	5,797E-02	2,318E+02	2,338E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,656E-08	5,540E-10	7,059E-08	1,232E-07	6,469E-07	2,388E-08	9,546E-05	9,634E-05
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	6,690E-04	7,488E-06	2,828E-03	1,589E-03	8,028E-03	3,228E-04	1,290E+00	1,304E+00
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,969E-04	7,801E-06	1,230E-03	3,698E-04	8,881E-03	3,362E-04	1,344E+00	1,355E+00
<b>FE</b>	kg P eq	9,174E-07	5,494E-07	1,335E-04	6,852E-06	5,805E-04	2,368E-05	9,468E-02	9,542E-02
<b>ME</b>	kg N eq	7,834E-08	3,549E-08	4,648E-06	3,703E-05	4,132E-05	1,530E-06	6,115E-03	6,199E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	1,375E-02	1,476E-03	2,648E-01	1,049E-02	1,650E+00	6,364E-02	2,544E+02	2,564E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	6,020E-04	2,400E-04	3,583E-02	2,055E-04	2,751E-01	1,035E-02	4,136E+01	4,168E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,235E-05	2,317E-06	8,205E-04	3,017E-05	2,201E-03	9,987E-05	3,993E-01	4,024E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	2,092E-02	3,555E-04	2,004E-01	4,066E-02	2,661E-01	1,532E-02	6,126E+01	6,180E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	2,541E-05	1,471E-05	3,270E-03	3,421E-03	1,589E-02	6,342E-04	2,535E+00	2,559E+00

Tabela 34 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *C. longa*; UF: 1 g de extrato

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Transporte</b>	<b>Extração</b>	<b>Filtração</b>	<b>Evaporação</b>	<b>Congelação</b>	<b>Liofilização</b>	<b>Total</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	2,569E-05	1,124E-01	6,810E-02	8,075E-01	3,026E-02	1,210E+02	1,221E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,595E-11	3,348E-08	6,430E-08	3,449E-07	1,246E-08	4,986E-05	5,031E-05
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	2,375E-07	8,080E-04	4,547E-04	4,526E-03	1,685E-04	6,739E-01	6,799E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	8,905E-08	5,156E-04	1,931E-04	4,813E-03	1,755E-04	7,021E-01	7,078E-01
<b>FE</b>	kg P eq	4,715E-09	4,519E-05	3,577E-06	3,304E-04	1,236E-05	4,945E-02	4,984E-02
<b>ME</b>	kg N eq	3,313E-10	2,171E-06	1,933E-05	2,207E-05	7,984E-07	3,194E-03	3,238E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	5,308E-05	1,036E-01	5,463E-03	9,051E-01	3,322E-02	1,329E+02	1,339E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	4,371E-06	1,547E-02	1,073E-04	1,484E-01	5,400E-03	2,160E+01	2,177E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,258E-07	2,395E-04	1,575E-05	1,347E-03	5,213E-05	2,085E-01	2,102E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	8,458E-06	5,094E-02	2,122E-02	1,930E-01	7,999E-03	3,199E+01	3,227E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	7,383E-08	1,173E-03	1,786E-03	8,915E-03	3,310E-04	1,324E+00	1,336E+00

Tabela 35 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *C. longa* encapsulado; UF: 1 g de extrato

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Transporte</b>	<b>Preparação das soluções</b>	<b>Extração</b>	<b>Spray-drying</b>	<b>Total</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	3,347E-07	6,486E-02	9,238E-04	6,189E-01	6,847E-01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,028E-13	1,113E-08	3,366E-10	2,263E-07	2,377E-07
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,102E-09	5,770E-04	2,701E-04	3,215E-03	4,062E-03
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,042E-09	1,784E-04	4,774E-06	3,217E-03	3,401E-03
<b>FE</b>	kg P eq	5,165E-11	2,403E-05	3,379E-07	2,188E-04	2,432E-04
<b>ME</b>	kg N eq	4,141E-12	2,338E-06	2,224E-08	1,445E-05	1,681E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	6,248E-07	3,769E-02	8,071E-04	5,178E-01	5,563E-01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	1,692E-08	4,502E-03	9,590E-05	6,210E-02	6,670E-02
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,151E-09	1,402E-04	1,188E-06	7,695E-04	9,109E-04
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,108E-07	4,415E-02	2,584E-04	1,708E-01	2,152E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	9,971E-10	8,098E-04	4,675E-06	3,028E-03	3,843E-03

Tabela 36 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *R. officinalis* fresco – SFE-CO<sub>2</sub>; UF: 1 g de extrato (Cenário A)

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Transporte</b>	<b>CO<sub>2</sub>, emissões</b>	<b>Celulose</b>	<b>CO<sub>2</sub>, líquido</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Total</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	3,168E-05	5,615E-01	2,490E-03	4,583E-01	1,412E+01	1,514E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,966E-11	0,000E+00	1,836E-09	1,123E-07	5,821E-06	5,935E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	2,928E-07	0,000E+00	2,767E-05	9,057E-04	7,862E-02	7,955E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,098E-07	0,000E+00	1,962E-05	8,901E-04	8,190E-02	8,281E-02
<b>FE</b>	kg P eq	5,814E-09	0,000E+00	2,389E-06	1,512E-04	5,784E-03	5,938E-03
<b>ME</b>	kg N eq	4,085E-10	0,000E+00	6,961E-07	3,030E-05	3,747E-04	4,057E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	6,544E-05	0,000E+00	8,301E-02	5,230E-01	1,568E+01	1,629E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	5,389E-06	0,000E+00	3,851E-03	6,066E-02	2,541E+00	2,606E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,551E-07	0,000E+00	4,296E-03	2,037E-03	2,537E-02	3,170E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,043E-05	0,000E+00	6,859E-04	8,149E-02	3,732E+00	3,814E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	9,103E-08	0,000E+00	1,410E-03	3,606E-03	1,553E-01	1,603E-01

Tabela 37 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *R. officinalis* desidratado – SFE-CO<sub>2</sub>; UF: 1 g de extrato (Cenário A)

<b>Categoria de impacte</b>	<b>Unidade</b>	<b>Transporte</b>	<b>CO<sub>2</sub>, emissões</b>	<b>Celulose</b>	<b>CO<sub>2</sub>, líquido</b>	<b>Eletricidade</b>	<b>Total</b>
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	4,188E-05	7,424E-01	3,292E-03	6,059E-01	1,867E+01	2,002E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,599E-11	0,000E+00	2,427E-09	1,485E-07	7,696E-06	7,847E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,870E-07	0,000E+00	3,658E-05	1,197E-03	1,039E-01	1,052E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,451E-07	0,000E+00	2,594E-05	1,177E-03	1,083E-01	1,095E-01
<b>FE</b>	kg P eq	7,686E-09	0,000E+00	3,158E-06	1,999E-04	7,647E-03	7,850E-03
<b>ME</b>	kg N eq	5,400E-10	0,000E+00	9,202E-07	4,006E-05	4,954E-04	5,364E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	8,651E-05	0,000E+00	1,097E-01	6,915E-01	2,073E+01	2,154E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	7,124E-06	0,000E+00	5,091E-03	8,020E-02	3,360E+00	3,445E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,050E-07	0,000E+00	5,680E-03	2,693E-03	3,354E-02	4,191E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,379E-05	0,000E+00	9,068E-04	1,077E-01	4,934E+00	5,042E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,203E-07	0,000E+00	1,865E-03	4,768E-03	2,052E-01	2,119E-01



Tabela 38 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *R. officinalis* fresco – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário B)

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Hidrodestilação	Liofilização	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,026E-01	1,708E+01	5,404E+02	5,575E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	6,370E-08	7,037E-06	2,226E-04	2,297E-04
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	9,485E-04	9,506E-02	3,008E+00	3,104E+00
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	3,557E-04	9,899E-02	3,134E+00	3,233E+00
<b>FE</b>	kg P eq	1,883E-05	6,967E-03	2,207E-01	2,277E-01
<b>ME</b>	kg N eq	1,323E-06	4,512E-04	1,426E-02	1,471E-02
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,120E-01	1,872E+01	5,931E+02	6,121E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	1,746E-02	3,043E+00	9,643E+01	9,949E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	5,023E-04	2,938E-02	9,308E-01	9,607E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,379E-02	4,512E+00	1,428E+02	1,474E+02
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	2,949E-04	1,900E-01	5,911E+00	6,101E+00

Tabela 39 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *R. officinalis* desidratado – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário B)

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Hidrodestilação	Liofilização	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	1,343E-01	8,171E+00	2,584E+02	2,667E+02
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	8,335E-08	3,365E-06	1,064E-04	1,099E-04
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	1,241E-03	4,546E-02	1,439E+00	1,485E+00
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	4,654E-04	4,734E-02	1,499E+00	1,547E+00
<b>FE</b>	kg P eq	2,464E-05	3,332E-03	1,056E-01	1,089E-01
<b>ME</b>	kg N eq	1,731E-06	2,158E-04	6,818E-03	7,036E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,774E-01	8,954E+00	2,837E+02	2,929E+02
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	2,284E-02	1,456E+00	4,612E+01	4,760E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	6,573E-04	1,405E-02	4,452E-01	4,599E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	4,421E-02	2,158E+00	6,831E+01	7,051E+01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	3,859E-04	9,089E-02	2,827E+00	2,918E+00

Tabela 40 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato à base de *R. officinalis* fresco e desidratado – HD sem aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de extrato (Cenário C)

Categoria de impacte	Unidade	Amostra fresca			Amostra desidratada		
		Transporte	Hidrodestilação	Total	Transporte	Hidrodestilação	Total
<b>GW</b>	kg CO2 eq	1,101E-01	1,833E+01	1,844E+01	1,364E-01	8,297E+00	8,433E+00
<b>OD</b>	kg CFC11 eq	6,836E-08	7,551E-06	7,620E-06	8,464E-08	3,417E-06	3,502E-06
<b>OF</b>	kg NOx eq	1,018E-03	1,020E-01	1,030E-01	1,260E-03	4,617E-02	4,743E-02
<b>TA</b>	kg SO2 eq	3,817E-04	1,062E-01	1,066E-01	4,726E-04	4,807E-02	4,855E-02
<b>FE</b>	kg P eq	2,021E-05	7,477E-03	7,497E-03	2,503E-05	3,384E-03	3,409E-03
<b>ME</b>	kg N eq	1,420E-06	4,842E-04	4,857E-04	1,758E-06	2,191E-04	2,209E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,275E-01	2,009E+01	2,032E+01	2,817E-01	9,092E+00	9,374E+00
<b>LU</b>	m2a crop eq	1,874E-02	3,266E+00	3,285E+00	2,320E-02	1,478E+00	1,501E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	5,391E-04	3,153E-02	3,207E-02	6,675E-04	1,427E-02	1,494E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	3,626E-02	4,842E+00	4,879E+00	4,489E-02	2,191E+00	2,236E+00
<b>WC</b>	m3	3,165E-04	2,040E-01	2,043E-01	3,919E-04	9,230E-02	9,269E-02

Tabela 41 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de  $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – SFE-CO<sub>2</sub>; UF: 1 g de componente

Categoria de impacte	Unidade	Amostra fresca			Amostra desidratada		
		$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona	$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona
<b>GW</b>	kg CO2 eq	4,787E+03	3,917E+03	4,787E+03	4,787E+03	6,155E+03	6,155E+03
<b>OD</b>	kg CFC11 eq	1,877E-03	1,535E-03	1,877E-03	1,877E-03	2,413E-03	2,413E-03
<b>OF</b>	kg NOx eq	2,515E+01	2,058E+01	2,515E+01	2,515E+01	3,234E+01	3,234E+01
<b>TA</b>	kg SO2 eq	2,618E+01	2,142E+01	2,618E+01	2,618E+01	3,366E+01	3,366E+01
<b>FE</b>	kg P eq	1,877E+00	1,536E+00	1,877E+00	1,877E+00	2,414E+00	2,414E+00
<b>ME</b>	kg N eq	1,283E-01	1,049E-01	1,283E-01	1,283E-01	1,649E-01	1,649E-01
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	5,150E+03	4,214E+03	5,150E+03	5,150E+03	6,622E+03	6,622E+03
<b>LU</b>	m2a crop eq	8,238E+02	6,741E+02	8,238E+02	8,238E+02	1,059E+03	1,059E+03
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,002E+01	8,201E+00	1,002E+01	1,002E+01	1,289E+01	1,289E+01
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,206E+03	9,866E+02	1,206E+03	1,206E+03	1,550E+03	1,550E+03
<b>WC</b>	m3	5,067E+01	4,146E+01	5,067E+01	5,067E+01	6,515E+01	6,515E+01

Tabela 42 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de  $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – HD com aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de componente

Categoria de impacte	Unidade	Amostra fresca			Amostra desidratada		
		$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona	$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona
<b>GW</b>	kg CO2 eq	7,688E+02	4,081E+03	5,485E+03	2,284E+03	3,695E+03	5,080E+03
<b>OD</b>	kg CFC11 eq	3,167E-04	1,681E-03	2,259E-03	9,408E-04	1,522E-03	2,093E-03
<b>OF</b>	kg NOx eq	4,281E+00	2,272E+01	3,054E+01	1,272E+01	2,058E+01	2,829E+01
<b>TA</b>	kg SO2 eq	4,459E+00	2,367E+01	3,181E+01	1,324E+01	2,142E+01	2,946E+01
<b>FE</b>	kg P eq	3,140E-01	1,667E+00	2,240E+00	9,326E-01	1,509E+00	2,075E+00
<b>ME</b>	kg N eq	2,028E-02	1,077E-01	1,447E-01	6,024E-02	9,746E-02	1,340E-01
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	8,440E+02	4,480E+03	6,021E+03	2,508E+03	4,057E+03	5,578E+03
<b>LU</b>	m2a crop eq	1,372E+02	7,282E+02	9,787E+02	4,075E+02	6,593E+02	9,064E+02
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,325E+00	7,032E+00	9,451E+00	3,937E+00	6,370E+00	8,759E+00
<b>FRS</b>	kg oil eq	2,032E+02	1,079E+03	1,450E+03	6,037E+02	9,767E+02	1,343E+03
<b>WC</b>	m3	8,414E+00	4,466E+01	6,002E+01	2,499E+01	4,042E+01	5,558E+01

Tabela 43 - Impactes ambientais globais obtidos para o processo de extração do extrato à base de  $\alpha$ -pineno, eucaliptol e verbenona – HD sem aproveitamento do hidrolato; UF: 1 g de componente

Categoria de impacte	Unidade	Amostra fresca			Amostra desidratada		
		$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona	$\alpha$ -pineno	Eucaliptol	Verbenona
<b>GW</b>	kg CO2 eq	2,370E+01	1,265E+02	1,703E+02	7,110E+01	1,152E+02	1,584E+02
<b>OD</b>	kg CFC11 eq	9,791E-06	5,228E-05	7,035E-05	2,953E-05	4,783E-05	6,576E-05
<b>OF</b>	kg NOx eq	1,324E-01	7,069E-01	9,512E-01	3,999E-01	6,477E-01	8,906E-01
<b>TA</b>	kg SO2 eq	1,370E-01	7,314E-01	9,843E-01	4,093E-01	6,630E-01	9,116E-01
<b>FE</b>	kg P eq	9,633E-03	5,144E-02	6,922E-02	2,874E-02	4,655E-02	6,401E-02
<b>ME</b>	kg N eq	6,240E-04	3,332E-03	4,484E-03	1,862E-03	3,017E-03	4,148E-03
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,611E+01	1,394E+02	1,876E+02	7,903E+01	1,280E+02	1,760E+02
<b>LU</b>	m2a crop eq	4,221E+00	2,254E+01	3,033E+01	1,266E+01	2,050E+01	2,819E+01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	4,121E-02	2,201E-01	2,961E-01	1,259E-01	2,040E-01	2,805E-01
<b>FRS</b>	kg oil eq	6,269E+00	3,347E+01	4,504E+01	1,885E+01	3,054E+01	4,199E+01
<b>WC</b>	m3	2,625E-01	1,401E+00	1,886E+00	7,815E-01	1,266E+00	1,741E+00

Tabela 44 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em micosteróis, nomeadamente Ergosterol; UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Liofilização	Trituração	EAU	Centrifugação	Filtração	Evaporação	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	5,345E-03	4,549E-01	2,051E-03	5,309E-01	1,353E-01	6,572E-02	4,739E-01	1,668E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,447E-09	1,875E-07	8,454E-10	8,852E-08	5,576E-08	6,235E-08	2,996E-07	6,971E-07
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,952E-05	2,533E-03	1,142E-05	9,898E-03	8,015E-03	7,488E-03	2,895E-03	3,088E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,449E-05	2,639E-03	1,189E-05	1,704E-03	7,845E-04	1,852E-04	3,849E-03	9,187E-03
<b>FE</b>	kg P eq	5,375E-07	1,864E-04	8,400E-07	2,109E-04	5,541E-05	3,411E-06	1,994E-04	6,568E-04
<b>ME</b>	kg N eq	9,745E-08	1,207E-05	5,442E-08	5,911E-06	3,589E-06	1,882E-05	1,912E-05	5,966E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	3,413E-03	5,053E-01	2,278E-03	3,864E-01	1,505E-01	5,025E-03	6,892E-01	1,742E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	6,194E-04	8,187E-02	3,691E-04	4,880E-02	2,434E-02	3,253E-05	1,227E-01	2,787E-01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,824E-05	8,173E-04	3,684E-06	1,394E-03	2,430E-04	1,252E-05	4,994E-04	2,998E-03
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,623E-03	1,202E-01	5,420E-04	3,565E-01	3,575E-02	2,048E-02	-4,764E-02	4,875E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	1,036E-05	5,002E-03	2,255E-05	4,945E-03	1,487E-03	1,738E-03	5,924E-03	1,913E-02

Tabela 45 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (cenário 1); UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Irradiação UV	Liofilização	Trituração	EAU	Re-extração	Centrifugação	Filtração	Evaporação	Lavagem DMSO	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	4,453E-03	2,029E-03	3,789E-01	1,709E-03	2,247E-01	1,888E-01	5,073E-01	8,214E-02	9,469E-01	4,511E-01	2,788E+00
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	2,039E-09	8,365E-10	1,562E-07	7,045E-10	1,091E-07	1,228E-07	2,091E-07	7,794E-08	3,434E-07	1,835E-07	1,206E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	3,293E-05	1,130E-05	2,110E-03	9,515E-06	3,674E-03	3,826E-03	5,233E-03	2,690E-03	4,935E-03	2,563E-03	2,508E-02
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	1,208E-05	1,177E-05	2,198E-03	9,912E-06	1,288E-03	1,134E-03	2,942E-03	2,314E-04	5,502E-03	2,581E-03	1,591E-02
<b>FE</b>	kg P eq	4,479E-07	8,312E-07	1,552E-04	7,000E-07	7,715E-05	6,731E-05	2,078E-04	4,264E-06	4,021E-04	1,919E-04	1,108E-03
<b>ME</b>	kg N eq	8,120E-08	5,385E-08	1,006E-05	4,535E-08	5,128E-06	4,386E-06	1,346E-05	2,352E-05	2,600E-05	1,234E-05	9,508E-05
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,844E-03	2,254E-03	4,209E-01	1,898E-03	2,593E-01	2,298E-01	5,767E-01	1,922E-02	1,053E+00	4,963E-01	3,062E+00
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	5,161E-04	3,652E-04	6,820E-02	3,076E-04	3,434E-02	3,192E-02	9,130E-02	4,066E-05	1,744E-01	8,432E-02	4,858E-01
<b>MRS</b>	kg Cu eq	2,353E-05	3,645E-06	6,808E-04	3,070E-06	6,614E-04	5,380E-04	9,114E-04	1,565E-05	1,496E-03	6,135E-04	4,947E-03
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,353E-03	5,363E-04	1,002E-01	4,517E-04	1,204E-01	1,191E-01	1,341E-01	2,559E-02	1,682E-01	9,157E-02	7,615E-01
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	8,632E-06	2,231E-05	4,167E-03	1,879E-05	2,845E-03	2,303E-03	5,577E-03	2,173E-03	1,025E-02	4,552E-03	3,192E-02



Tabela 46 - Impactes ambientais obtidos para o processo de extração do extrato enriquecido em Vitamina D<sub>2</sub> (Cenário 2); UF: 1 g de extrato

Categoria de impacte	Unidade	Transporte	Trituração	Congelação	Liofilização	EAU	Filtração	Evaporação	Irradiação UV	Total
<b>GW</b>	kg CO <sub>2</sub> eq	3,554E-02	7,098E-03	1,214E-02	1,217E+01	1,999E+00	2,300E-01	1,895E+00	2,029E-01	1,656E+01
<b>OD</b>	kg CFC <sub>11</sub> eq	1,627E-08	2,926E-09	4,998E-09	5,019E-06	5,202E-07	2,182E-07	1,073E-06	8,365E-08	6,939E-06
<b>OF</b>	kg NO <sub>x</sub> eq	2,628E-04	3,952E-05	6,756E-05	6,779E-02	1,547E-02	5,877E-03	1,127E-02	1,130E-03	1,019E-01
<b>TA</b>	kg SO <sub>2</sub> eq	9,637E-05	4,117E-05	7,039E-05	7,061E-02	8,389E-03	6,481E-04	1,407E-02	1,177E-03	9,511E-02
<b>FE</b>	kg P eq	3,574E-06	2,908E-06	4,958E-06	4,987E-03	8,037E-04	1,194E-05	7,911E-04	8,312E-05	6,688E-03
<b>ME</b>	kg N eq	6,480E-07	1,884E-07	3,202E-07	3,231E-04	3,398E-05	6,587E-05	6,861E-05	5,385E-06	4,981E-04
<b>HT</b>	kg 1,4-DCB	2,270E-02	7,884E-03	1,332E-02	1,352E+01	1,746E+00	1,695E-02	2,561E+00	2,254E-01	1,812E+01
<b>LU</b>	m <sup>2</sup> a crop eq	4,119E-03	1,277E-03	2,166E-03	2,191E+00	2,508E-01	1,139E-04	4,458E-01	3,652E-02	2,932E+00
<b>MRS</b>	kg Cu eq	1,878E-04	1,275E-05	2,091E-05	2,187E-02	4,619E-03	4,382E-05	2,419E-03	3,645E-04	2,954E-02
<b>FRS</b>	kg oil eq	1,080E-02	1,876E-03	3,208E-03	3,218E+00	1,033E+00	7,166E-02	1,674E-02	5,363E-02	4,408E+00
<b>WC</b>	m <sup>3</sup>	6,889E-05	7,804E-05	1,328E-04	1,339E-01	1,990E-02	6,084E-03	2,283E-02	2,231E-03	1,852E-01