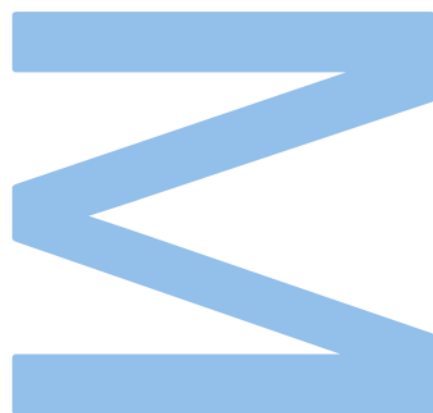
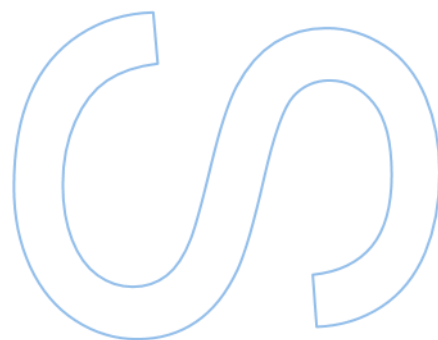


# Desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo da pegada carbónica da produção de vinho na Região dos Vinhos Verdes

**Carolina Corga Oliveira**

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto  
2026



# Desenvolvimento de uma ferramenta de cálculo da pegada carbónica da produção de vinho na Região dos Vinhos Verdes

**Carolina Corga Oliveira**

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente  
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território  
2026

**Orientador**

Luís Tiago da Costa Pinto da Silva, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

**Coorientador**

Joaquim Carlos Gomes Esteves da Silva, Professor Catedrático, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

**Supervisor local**

Alexander Cornejo Pino, Diretor de Sustentabilidade, I&D Inovação e Academia dos Vinhos Verdes



# Agradecimentos

Aos orientadores académicos, Doutor Luís Silva e Doutor Joaquim Silva pelo acompanhamento ao longo deste estágio, orientação constante, disponibilidade para o esclarecimento de dúvidas e sugestões de forma a enriquecer o meu trabalho.

Ao orientador em contexto empresarial, Doutor Alexander Pino, pela disponibilidade e pelo papel fundamental na ligação entre mim e os produtores contribuindo de forma decisiva para o desenvolvimento desta ferramenta.

A todos os produtores que colaboraram, pela partilha do seu conhecimento e experiência no setor, permitindo que a ferramenta desenvolvida esteja alinhada com as características e especificidades da Região Demarcada dos Vinhos Verdes.

Aos docentes da Faculdade de Ciências, partilha de conhecimento, dedicação e papel determinante para a minha formação académica ao longo da licenciatura e mestrado

Aos amigos que me acompanharam durante estes últimos cinco anos pelo espírito de entreajuda e amizade.

À minha família, pelo incentivo e apoio incondicional ao longo do meu percurso académico.

## Resumo

O setor vitivinícola tem enfrentado alguns desafios. Desta forma, a Região Demarcada dos Vinhos Verdes não é exceção e tem-se deparado com algumas dificuldades decorrentes das alterações climáticas, bem como das tendências e pressões emergentes dos mercados nacionais e internacionais. Neste contexto, o presente relatório tem como objetivo providenciar algum auxílio, tendo em vista que os produtores consigam acompanhar de forma eficiente as exigências dos consumidores.

Efetivamente, apesar da crescente relevância da sustentabilidade ambiental, verifica-se atualmente a ausência de uma ferramenta adaptada às características desta região que permita aos produtores compreender e avaliar a pegada carbónica associada à produção do vinho. Tendo isto em vista, no contexto deste estágio, foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo que permite quantificar as emissões associadas ao longo das principais etapas de cadeia de valor do vinho, permitindo aos produtores desta região identificar de uma forma pedagógica os principais pontos críticos com maior potencial para reduzir as emissões.

Palavras Chave: Vitivinicultura, Pegada Carbónica, Região dos Vinhos Verdes

## Abstract

The wine sector has been facing several challenges in recent years. Consequently, the Vinho Verde Demarcated Region is no exception, encountering difficulties arising from climate change, as well as emerging trends and pressures in both national and international markets. In this context, the present report aims to provide support to producers, enabling them to respond effectively to evolving consumer demands.

Despite the growing importance of environmental sustainability, there is currently no tool specifically adapted to the characteristics of this region that allows producers to understand and assess the carbon footprint associated with wine production. To address this gap, a carbon footprint calculation tool was developed during this internship. The tool quantifies greenhouse gas emissions throughout the main stages of the wine value chain, enabling producers in the Vinho Verde region to identify, in a clear and educational manner, the key hotspots with the greatest potential for emission reductions.

**Keywords:** Viticulture, Carbon Footprint, Vinho Verde Wine Region

# Índice

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Lista de Tabelas .....                                   | vii  |
| Lista de Figuras .....                                   | viii |
| Lista de Abreviaturas .....                              | ix   |
| 1. Introdução.....                                       | 1    |
| 1.1. Apresentação da empresa.....                        | 2    |
| 1.2. Objetivo .....                                      | 3    |
| 1.3. Estrutura e organização do relatório .....          | 3    |
| 2. Estado de arte .....                                  | 4    |
| 2.1. Caracterização do setor vitivinícola .....          | 4    |
| 2.1.1. A nível mundial .....                             | 4    |
| 2.1.2. A nível nacional.....                             | 6    |
| 2.1.3. A nível da região dos vinhos verdes.....          | 7    |
| 2.2. Avaliação de ciclo de vida e pegada carbónica ..... | 7    |
| 2.3. Etapas de ciclo de vida do vinho .....              | 8    |
| 2.4. Revisão bibliográfica .....                         | 10   |
| 2.5. Ferramentas de cálculo para o setor do vinho .....  | 12   |
| 2.5.1. Australian Wine Carbon Calculator .....           | 12   |
| 2.5.2. Calculadora da Região Demarcada do Douro .....    | 12   |
| 2.6. Legislação .....                                    | 13   |
| 2.6.1. Lei Europeia do Clima.....                        | 13   |
| 2.6.2. Passaporte digital de produto.....                | 14   |
| 3. Metodologia da ferramenta .....                       | 15   |
| 3.1. Caracterização da Quinta .....                      | 15   |
| 3.2. Viticultura.....                                    | 16   |
| 3.2.1. Alteração do Uso do Solo .....                    | 16   |
| 3.2.2. Produtos fitofarmacêuticos (Pesticidas).....      | 17   |
| 3.2.3. Fertilizantes .....                               | 18   |

|         |                                                                |    |
|---------|----------------------------------------------------------------|----|
| 3.2.4.  | Calagem do Solo .....                                          | 21 |
| 3.2.5.  | Consumo de Energia .....                                       | 21 |
| 3.2.6.  | Consumo de gás de garrafa .....                                | 22 |
| 3.2.7.  | Consumo de combustíveis em equipamentos móveis .....           | 22 |
| 3.2.8.  | Resíduos gerais.....                                           | 23 |
| 3.2.9.  | Águas residuais .....                                          | 25 |
| 3.2.10. | Embalagens de produtos fitofarmacêuticos.....                  | 26 |
| 3.2.11. | Transporte das uvas da vinha para a adega .....                | 27 |
| 3.3.    | Vinificação .....                                              | 27 |
| 3.3.1.  | Compra de vinho ao exterior.....                               | 27 |
| 3.3.2.  | Produtos enológicos .....                                      | 27 |
| 3.3.3.  | Uso de gases inertes nas cubas .....                           | 29 |
| 3.3.4.  | Produtos de lavagem das cubas.....                             | 29 |
| 3.3.5.  | Recarga do sistema de refrigeração .....                       | 30 |
| 3.3.6.  | Fontes estacionárias.....                                      | 32 |
| 3.3.7.  | Transporte do vinho da adega para o armazém .....              | 33 |
| 3.4.    | Engarrafamento.....                                            | 33 |
| 3.4.1.  | Materiais de engarrafamento .....                              | 33 |
| 3.5.    | Vinificação e engarrafamento .....                             | 35 |
| 3.5.1.  | Consumo de água tratada .....                                  | 35 |
| 3.5.2.  | Parâmetros repetidos .....                                     | 35 |
| 3.6.    | Distribuição.....                                              | 35 |
| 4.      | Resultados.....                                                | 37 |
| 4.1.    | Folha 1: Apresentação da ferramenta .....                      | 37 |
| 4.2.    | Folha 2: Caracterização da Quinta .....                        | 38 |
| 4.3.    | Folha 3: Cálculo das emissões provenientes da viticultura..... | 39 |
| 4.4.    | Folha 4: Resultados globais da viticultura.....                | 41 |
| 4.5.    | Folha 5: Vinificação e engarrafamento .....                    | 42 |

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6. Folha 6: Resultados globais da vinificação e engarrafamento .....    | 43 |
| 4.7. Folha 7: Distribuição.....                                           | 44 |
| 4.8. Folha 8: Resultados globais da distribuição.....                     | 45 |
| 4.9. Folha 9: Resultados totais .....                                     | 46 |
| 4.10. Folha 10: Resultados individuais viticultura .....                  | 47 |
| 4.11. Folha 11: Resultados individuais vinificação e engarrafamento ..... | 47 |
| 5. Conclusão.....                                                         | 49 |
| 6. Referências Bibliográficas .....                                       | 50 |

## Lista de Tabelas

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Fatores de emissão relativos à alteração do uso do solo de prado e floresta para terra de cultivo. ....                    | 17 |
| Tabela 2: Fatores de emissão, por substância ativa, para pesticidas. ....                                                            | 18 |
| Tabela 3: Fatores de emissão, para fertilizantes. ....                                                                               | 20 |
| Tabela 4: Fator de emissão, associados à combustão de gás butano e propano. ....                                                     | 22 |
| Tabela 5: Fatores de emissão, para a gasolina 95 e gasóleo. ....                                                                     | 23 |
| Tabela 6: Taxa de reciclagem, fração virgem e fator de emissão evitado para os resíduos de vidro, plástico e papel/cartão. ....      | 25 |
| Tabela 7: Fator de emissão, relativos aos diversos produtos enológicos. ....                                                         | 28 |
| Tabela 8: Fatores de emissão, para os gases árgon e azoto. ....                                                                      | 29 |
| Tabela 9: Fatores de emissão, relativos aos produtos utilizados para lavagem das cubas. ....                                         | 30 |
| Tabela 10: Potencial de aquecimento global, para os gases e misturas de gases utilizados na recarga do sistema de refrigeração. .... | 31 |
| Tabela 11: Fator de emissão dos diferentes tipos de combustíveis utilizados nas fontes estacionárias. ....                           | 33 |
| Tabela 12: Fator de emissão, para materiais de engarrafamento. ....                                                                  | 34 |
| Tabela 13: Fator de emissão, para cada via de transporte. ....                                                                       | 36 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Localização das Região dos Vinhos Verdes e respetivas sub-regiões.Fonte:[8]                                                              | 2  |
| Figura 2: Etapas de ciclo de vida do vinho.....                                                                                                    | 10 |
| Figura 3: Folha de "Início" da ferramenta de cálculo da pegada carbónica. ....                                                                     | 37 |
| Figura 4: Folha de “caracterização da quinta” da ferramenta de cálculo da pegada carbónica.....                                                    | 39 |
| Figura 5:Cálculo das emissões associadas à alteração do uso do solo na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....                             | 40 |
| Figura 6: Cálculo das emissões associadas a produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.....           | 40 |
| Figura 7: Cálculo das emissões totais associadas à etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....                         | 40 |
| Figura 8: Folha dos resultados globais para a etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbónica. ....                              | 41 |
| Figura 9: Cálculo das emissões associadas ao transporte do vinho da adega para o armazém na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.....         | 42 |
| Figura 10: Cálculo das emissões associadas a materiais de engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica. ....                        | 43 |
| Figura 11: Cálculo das emissões associadas ao consumo de água tratada na ferramenta de cálculo da pegada carbónica. ....                           | 43 |
| Figura 12:Folha dos resultados globais para a etapa da vinificação e engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....             | 44 |
| Figura 13: Folha dos dados de entrada para a etapa da distribuição na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....                              | 45 |
| Figura 14: Folha dos resultados globais para a etapa da distribuição na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....                            | 45 |
| Figura 15: Folha dos resultados totais na ferramenta de cálculo da pegada carbónica. ....                                                          | 46 |
| Figura 16:Folha dos resultados individuais para a etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbónica .....                          | 47 |
| Figura 17: Cálculo da calagem de solo na folha de resultados individuais na etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbónica..... | 47 |
| Figura 18: Folha dos resultados individuais para a etapa da vinificação e engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.....         | 48 |

## Lista de Abreviaturas

|                  |                                                           |
|------------------|-----------------------------------------------------------|
| ACV              | AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA                                |
| BIB              | BAG-IN-BOX                                                |
| CH <sub>4</sub>  | METANO                                                    |
| CO <sub>2</sub>  | DIÓXIDO DE CARBONO                                        |
| CVRVV            | COMISSÃO DE VITICULTURA DA REGIÃO DOS VINHOS<br>VERDES    |
| DO               | DENOMINAÇÃO DE ORIGEM                                     |
| EDP              | ENERGIAS DE PORTUGAL                                      |
| EUA              | ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA                                 |
| FIVS             | FEDERAÇÃO INTERNACIONAL DOS VINHOS E<br>ESPIRITUOSOS      |
| GEE              | GASES COM EFEITO DE ESTUFA                                |
| IG               | IDENTIFICAÇÃO GEOGRÁFICA                                  |
| IWCC             | CALCULADORA INTERNACIONAL DE PEGADA<br>CARBÓNICA DO VINHO |
| K                | POTÁSSIO                                                  |
| N                | AZOTO                                                     |
| N <sub>2</sub> O | ÓXIDO NITROSO                                             |
| OIV              | ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO VINHO E DA VINHA             |
| P                | FÓSFORO                                                   |
| PC               | PEGADA CARBÓNICA                                          |
| PDP              | PASSAPORTE DIGITAL DE PRODUTO                             |
| RVV              | REGIÃO DOS VINHOS VERDES                                  |
| UE               | UNIÃO EUROPEIA                                            |
| UF               | UNIDADE FUNCIONAL                                         |

# 1. Introdução

O setor vitivinícola é reconhecido como um dos pilares fundamentais da economia portuguesa. Este setor não só impulsiona a economia, como também gera impactos significativos nos domínios social, cultural e ambiental. Em 2021, o setor do vinho, gerou cerca de 3 mil milhões de euros em atividade económica direta e representou cerca de 43 mil empregos. Estes valores representam 2,7% do produto interno bruto (PIB) e 3,4% do emprego nacional. Para além disso, o vinho é o principal produto da indústria das bebidas, com forte impacto nas exportações e na coesão territorial, especialmente nas regiões do interior do país. A nível internacional, Portugal, destaca-se por ser o 4º país da União Europeia (UE) e o 9º país do mundo com maior área de vinha. [1]

Tal como acontece em qualquer setor de agrícola e industrial, a produção de vinho tem um impacto ambiental ao longo de toda a sua cadeia de valor. Posto isto, torna-se imperativo identificar e mitigar estes efeitos, focando os esforços na redução das emissões de gases com efeito de estufa (GEE) responsáveis pelas alterações climáticas. [2] Assim, a sustentabilidade neste setor é um objetivo não só da Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) e da Federação Internacional dos Vinhos e Espirituosos (FIVS) como também da UE. Esta urgência é ainda maior face à aprovação da Lei Europeia do Clima, que estabelece o compromisso de neutralidade carbónica na UE até 2050. [3]

Por conseguinte, é necessário adotar ferramentas para avaliar esses impactos ambientais. Neste contexto, a pegada carbónica (PC) surge como um indicador para quantificar as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida dos produtos vitivinícolas. Esta ferramenta possibilita, portanto, a identificação dos principais pontos críticos de emissão (*hotspots*), a fim de fundamentar e aplicar estratégias eficazes de melhoria.

Neste trabalho, apresenta-se um estudo sobre a criação de uma ferramenta para o cálculo da PC de vinhos, no âmbito de um estágio curricular realizado na Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes (CVRVV), mais concretamente no departamento de Sustentabilidade e Inovação. A CVRVV é uma instituição coletiva e privada, com sede no Porto, que desempenha um papel na cadeia de valor do setor vitivinícola destacando-se na certificação e controlo de qualidade, promoção e internacionalização e investigação e desenvolvimento (I&D).

O principal objetivo deste estágio foi desenvolver uma ferramenta de cálculo da PC da produção de vinho na Região dos Vinhos Verdes (RVV). Esta ferramenta abrange as etapas de viticultura, vinificação, engarrafamento e distribuição.

## 1.1. Apresentação da empresa

A Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes (CVRVV) remonta ao ano de 1926, é uma associação privada e de âmbito regional. [4]

Esta associação sem fins lucrativos para além de ser, desde 2020, a entidade gestora é também responsável pela certificação dos produtos vitivinícolas com as denominações de origem (DO) “Vinho Verde” e da Indicação Geográfica (IG) “Minho”, sendo por isso essencial para a proteção e desenvolvimento desta denominação, tendo de assegurar a qualidade e autenticidade dos vinhos produzidos na RVV. [4], [5]

A CVRVV tem como missão:

- Auxiliar a atividade económica das entidades associadas, através da prestação de suporte nas áreas técnica, formativo e promocional;
- Assegurar o controlo oficial relativo à certificação da DO e IG;
- Garantir a gestão estratégica e salvaguarda jurídica da DO e IG, representando os interesses profissionais ligados à produção e comercialização. [6]

A CVRVV estende-se pela RVV que se subdivide-se em nove sub-regiões (Amarante, Ave, Baião, Basto, Cávado, Lima, Monção e Melgaço, Paiva e Souda) com características climáticas e de solo distintas, o que se reflete na diversidade vinícola e nos vinhos produzidos. [5], [7]

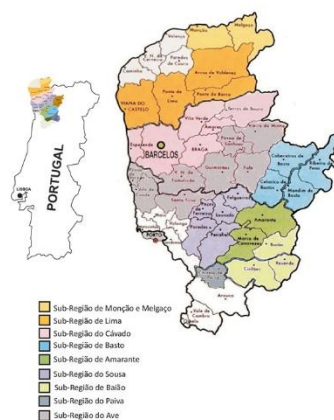


Figura 1: Localização das Região dos Vinhos Verdes e respetivas sub-regiões.Fonte:[8]

Esta instituição conta ainda com um Centro de Estudos da Região dos Vinhos Verdes em Arcos de Valdevez, que tem como principal função a investigação aplicada nas diversas áreas da vinha e do vinho. [9]

Este estágio foi realizado no departamento de Sustentabilidade, I&D, Inovação e Academia do Vinho Verde. No âmbito do seu programa de sustentabilidade, este departamento tem como objetivo promover práticas e estratégias de produção sustentáveis, identificando aspetos críticos para a sustentabilidade. [10] Para além disso, na área da investigação e desenvolvimento e inovação, a CVRVV tem previsto a colaboração estratégica com instituições académicas de forma a fortalecer a competitividade e sustentabilidade ambiental, social e económica do setor no âmbito da Agenda de I&D e, foi neste contexto, que se enquadrou a oportunidade de desenvolvimento deste estágio. [10]

## 1.2. Objetivo

Pretende-se, com este estágio, desenvolver, uma ferramenta de cálculo que possa ser utilizada para determinar a PC associada à produção de vinhos na RVV. Mais concretamente, criar uma ferramenta prática que permita às empresas, de forma pedagógica, estimar e comparar as emissões associadas às principais etapas da cadeia de valor e, sobretudo, identificar os pontos de emissão mais críticos ao longo do ciclo de vida do produto. Esta ferramenta vai abranger, assim, as principais etapas de cadeia de valor: viticultura, vinificação, engarrafamento e distribuição.

## 1.3. Estrutura e organização do relatório

O presente relatório encontra-se estruturado em 5 capítulos. Após o Capítulo 1 onde é feita a introdução com um enquadramento do tema, o objetivo do estágio e apresentação da empresa onde foi desenvolvido este estágio. O Capítulo 2 apresenta o estado de arte, incluindo a apresentação do setor à escala mundial, nacional e regional, os conceitos importantes para o desenvolvimento deste trabalho. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento da ferramenta proposta. O Capítulo 4 apresenta a ferramenta em si, descrevendo a sua estrutura e modo de funcionamento. Por fim, o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, as principais limitações da ferramenta desenvolvida e as perspetivas para trabalhos futuros.

## 2. Estado de arte

### 2.1. Caracterização do setor vitivinícola

Neste capítulo é apresentado o enquadramento teórico que serve de base para o desenvolvimento da ferramenta de cálculo da PC proposta neste projeto. É importante, numa primeira fase, compreender o contexto atual do setor vitivinícola, desde o nível global ao nacional e regional. Isto permite identificar as principais tendências e desafios que o setor enfrenta assim como compreender a relevância da RVV.

#### 2.1.1. A nível mundial

O setor vitivinícola mundial tem sofrido, ao longo dos anos, oscilações significativas, derivadas principalmente de fatores climáticos, económicos e sociais. Fenómenos meteorológicos extremos e variabilidade climática, como cheias, períodos de seca prolongados, chuvas excessivas e geadas precoces desincentivam a sua produção nos últimos anos. Fatores económicos, como por exemplo, as condições de mercado mais fracas também podem levar os produtores a reduzir a produção.[11] Desta forma, a produção mundial de vinho (sem contar com sumos e mosto) registou, em 2024, um nível historicamente baixo de 225 milhões de hectolitros. Em 2025 apesar do ligeiro aumento, a produção continuou a apresentar valores bastante baixos, registando 227 milhões de hectolitros, ou seja, 9,4% abaixo da média dos últimos 5 anos. [12]

A UE mantém-se como a região dominante a nível global, sendo responsável pela produção de 60% do vinho produzido mundialmente, apesar de uma ligeira diminuição (1,3%) relativamente ao ano de 2024, esta apresentou em 2025 uma produção estimada de 136 milhões de hectolitros.[12]

Itália, França e Espanha são aqueles que mais contribuem para a produção mundial e na UE. A Itália é o principal país produtor de vinho a nível mundial, registando, em 2025, uma produção de 44, 4 milhões de hectolitros, seguido da França e Espanha. Fora da UE, o país que mais produz é os Estados Unidos da América (EUA), sendo este o quarto maior produtor mundial, no entanto, registou uma produção de 20,0 milhões de hectolitros em 2025, valor que representa uma descida de cerca de 5,3% face a 2024. Este é um dos exemplos em que a descida pode estar relacionada com a inflação dos preços devido à baixa procura, o que leva os produtores a produzirem menos de forma a não terem prejuízo.

A nível do consumo de vinho, observa-se também uma trajetória decrescente anual desde 2020. Em 2025, segundo os dados disponibilizados pela OIV, o consumo de vinho situou-se nos 208 milhões de hectolitros, sendo o valor mais baixo registado desde 2020.[12] Esta descida deve-se às alterações nos padrões de consumo das populações, quer seja pela mudança dos hábitos sociais e geracionais quer pela evolução das preferências do estilo de vida. Para além disso, a pandemia Covid-19, que surgiu em 2020, as constantes tensões geopolíticas e a inflação têm influenciado o poder de compra dos consumidores. Em geral, todos os países apresentaram descidas face a anos anteriores, salvo raras exceções, como é o caso de Portugal, Brasil e Japão. De facto, os 3 principais mercados de consumo a nível mundial, nomeadamente EUA, França e Itália, registaram descidas de 4,3%, 3,2% e 9,4%, respetivamente, relativamente a 2024.[12] A China foi um dos países que contribuiu de forma mais expressiva para a diminuição do consumo global, registando valores de 4,8 hectolitros em 2025, o que representa uma descida de 13,0% referente ao ano de 2024. Na UE, que representa 48% do consumo mundial, também se observou uma descida no consumo de volume total de 100,6 milhões de hectolitros (valores registados no ano de 2025), representando uma descida de 3,1% face a 2024. [12]As descidas foram observadas nos três maiores mercados dentro da UE: França, Itália e Alemanha.

Relativamente ao comércio internacional, as exportações a nível mundial apresentam, desde 2022, uma tendência decrescente, registando em 2025 um valor de vinho exportado de 94,8 milhões de hectolitros, com um valor associado a essa exportação de 33,8 mil milhões de euros (descida de 6,7% face ao ano de 2024).[12] O valor do preço médio de exportação, apesar de ter diminuído ligeiramente, foi o um valor historicamente elevado, sendo o terceiro nível mais alto já registado desde sempre. Esta contração deve-se, em larga medida, a fatores como os aspetos económicos, como é o caso das tarifas aplicadas pelos EUA, produções abaixo do normal e pela diminuição do consumo/procura. Os principais países exportadores como é o caso da Itália, Espanha, França, Chile, Austrália, Portugal, África do Sul, Nova Zelândia, Alemanha, EUA, registaram, no geral, valores inferiores aos dos anos anteriores, com exceção de Portugal e a Nova Zelândia.

Os tipos de produtos exportados são: vinho engarrafado, vinho espumante, Bag-in-Box (BIB) e vinho a granel. O tipo de produto dominante na comercialização é o vinho engarrafado, tanto em volume (51,1%) como em valor (66,4%). Em segundo lugar, o vinho a granel seguido do vinho espumante e, por fim, a BIB. O declínio no comércio destes produtos foi generalizado. No entanto, o grande responsável pela diminuição

global das exportações foi o vinho engarrafado, tendo registado uma diminuição no volume e preço de 5,7% e 8,9%, respetivamente.[12]

Tendo em consideração os fatores anteriores, as importações registaram uma tendência de queda em 2025, principalmente devido à baixa procura por parte dos consumidores e às incertezas económicas.

### 2.1.2. A nível nacional

A nível nacional, o ano de 2025 ficou marcado por uma produção de vinho historicamente baixa, com apenas 6,0 milhões de hectolitros, o valor mais baixo desde 2011, o que corresponde a uma descida de 14% face ao ano de 2024. Esta descida nos valores de produção deveu-se, de forma semelhante à observada na UE, à variabilidade climática. O ano de 2025 foi marcado por ondas de calor extremo e chuvas recorde, o que conduziu ao stress hídrico nas vinhas e deu origem a surtos de doenças. [11], [12]

Em sentido oposto ao observado a nível europeu, o consumo de vinho em Portugal, atingiu em 2025 o valor mais elevado de sempre, com 5,6 milhões de hectolitros consumidos. Este recorde atingido reflete um aumento de 5,6% face a 2024 e de 7,4% acima da média dos últimos cinco anos. Esta tendência crescente reflete a importância cultural do setor vinícola tem em Portugal.[12]

A nível económico, as exportações realizadas no setor vitivinícola português obtiveram um valor de 1,0 mil milhões de euros, o que representa uma descida deste valor de 1% face ao ano anterior (2024). No entanto, o volume de vinho exportado aumentou cerca de 1,1%, tendo sido atingidos 3,4 milhões de hectolitros em 2025. Esta descida de valor não é significativa quando comparada com o cenário observado mundialmente. A descida dos valores económicos associados à exportação está principalmente associada à categoria dominante nas exportações (89%), a de vinho engarrafado, que diminuiu 1,8% em relação a 2024. Os maiores mercados de exportação de Portugal são a França, em termos de valor (0,1 mil milhões de euros), e a Angola, em termos de volume (0,4 milhões de hectolitros exportados). Face à diminuição de produção e aumento do consumo e exportações, em 2025 a nível das importações de vinho em Portugal verificou-se uma crescente a nível económico, uma vez que, o valor das importações subiu 7,4% face ao ano de 2024, registando uma subida para 161 milhões de euros. A categoria que mais contribuiu para este aumento foi o vinho a granel com um volume e valor de 1,9 milhões de hectolitros e 2,1 milhões de euros, respetivamente.[12]

### 2.1.3. A nível da região dos vinhos verdes

Tendo em conta que esta ferramenta tem por objetivo ser aplicada na RVV, importa considerar as contribuições e a importância desta região para o setor vitivinícola nacional. No período de 2024/2025, a produção total de uva apta para a DO Vinhos Verdes e IG Minho foi de 134 567 890 kg, estando assim previsto, de forma aproximada, 102 milhões de litros de vinho produzido neste período. Do ponto de vista económico e comercial, até novembro de 2024, esta região atingiu um volume de exportações de 42 milhões de litros, totalizando 105 milhões de euros em negócios, o que reforça a sua importância no contexto da exportação nacional. [5]

## 2.2. Avaliação de ciclo de vida e pegada carbónica

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), é uma metodologia ambiental reconhecida internacionalmente e definida nas normas da Organização Internacional de Normalização ISO 14040 e ISO 14044. [13]Esta ferramenta oferece uma estrutura e metodologia padronizadas para quantificar os impactos ambientais de um produto ou sistema de produção ao longo de todo o ciclo de vida.[13]Efetivamente, este tipo de abordagem permite ter em consideração diversas categorias de impacto, o que permite avaliar e comparar de forma abrangente o desempenho ambiental de produtos e sistemas de produção. [2]A ACV permite uma abordagem integrada dos impactos ambientais resultantes da extração de matéria-prima, produção, consumo do produto e fim de vida, sendo, por isso, abrangente numa perspetiva “do berço ao túmulo”. [2], [14] Um ciclo completo do vinho pode envolver etapas distintas, como o planeamento da vitícola, a viticultura, a vinificação, a embalagem, o transporte e a distribuição, até ao consumo e fim de vida do produto. [14]Contudo, as etapas de consumo e de fim de vida do produto não são tipicamente consideradas em termos de avaliação do desempenho ambiental do setor vitivinícola. [2], [15] A etapa do consumo do vinho, apesar de poder estar associada a emissões de GEE, sobretudo devido à utilização de sistemas de refrigeração antes do consumo, é geralmente excluída das metodologias de análise da PC, também por recomendação das diretrizes da FIVS.[15] Isto deve-se à elevada variabilidade dos padrões do consumidor como, por exemplo, os hábitos de refrigeração. Da mesma forma, o fim de vida dos produtos (vinho e respetivas embalagens) não é tida em conta, uma vez que, em comparação com as outras etapas do ciclo de vida, esta tem um contributo insignificante para a PC global do vinho. Além disso, ambas as etapas encontram-se, geralmente, fora do controlo direto dos produtores, o que limita a sua utilidade para a monitorização e melhoria do desempenho

ambiental do setor, bem como a dificuldade em obter dados fiáveis e representativos que permitam quantificar os seus impactes e emissões de forma consistente.[2], [15]

Esta ferramenta tem-se revelado fundamental para os produtores de vinho, uma vez que lhes permite identificar quais os potenciais pontos críticos ao longo da cadeia de valor do vinho. Desta forma, os produtores conseguem identificar quais os pontos onde devem atuar para mitigar as emissões o que permite definir estratégias para reduzir o seu impacto.[16] Considerando as várias categorias de impacto ambiental disponibilizadas pela metodologia da ACV, a PC destaca-se como a métrica mais adequada para analisar/quantificar as emissões de GEE associadas à indústria vitivinícola.[2] De facto, a PC é um indicador, amplamente reconhecido a nível mundial, utilizado para quantificar as emissões diretas e indiretas de GEE ao longo das fases do ciclo de vida de produtos, serviços ou atividades.[13], [17] A PC representa um subconjunto dos dados derivados de um estudo de ACV e inclui as emissões provenientes de substâncias com potencial de aquecimento global, tais como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gases estes que são monitorizados pelo Protocolo de Quioto. Este indicador é expresso em kg de  $\text{CO}_2$  equivalente (kg  $\text{CO}_2$  eq.). [13], [18] Esta tem-se demonstrado bastante relevante para as empresas tanto do setor privado quanto no público, uma vez que permite identificar potenciais áreas de redução de emissões, alerta as pessoas e organizações para terem uma maior responsabilidade socioambiental e permite incentivar as empresas a fazer as alterações necessárias para otimizar o perfil ecológico dos produtos. [17]

### 2.3. Etapas de ciclo de vida do vinho

A primeira etapa do processo de produção de vinho é a viticultura, esta é uma etapa preponderante na quantidade e qualidade das uvas produzidas e, consequentemente, nas características do produto final vinho. Nesta etapa, que decorre na vinha, é feito o cultivo e colheita das uvas. As intervenções realizadas durante esta etapa consistem em atividade de inverno como a pré-poda e a poda. Na preparação do terreno, são incorporados no solo fertilizantes, corretivos orgânicos (estrume) e de acidez (calcário).[19]

No período que antecede a vindima, são realizadas intervenções em verde, como a despoda e a desfolha, favorecendo a exposição à luz e, consequentemente, maturação das uvas. [20] Além disso, são aplicados produtos fitossanitários, nomeadamente contra a podridão. Por fim é realizada a vindima com o consequente transporte das uvas desde a vinha até à adega onde ocorrerá a seguinte etapa do processo.

A vinificação é a etapa do ciclo de vida que consiste na transformação do mosto da uva em vinho. Esta etapa inicia-se com o desengace e o esmagamento, que consistem na separação das uvas do caule dos cachos, que na maioria dos casos, é feito com recurso a máquinas, de modo a esmagar as uvas de forma mais eficiente e, consequentemente, potenciar a saída do sumo da uva.[21]

De seguida, é realizada a etapa da prensagem, que consiste em prensar as uvas até conseguir obter todo o líquido das uvas. Esta etapa pode variar dependendo do tipo de vinho que estamos a falar. De facto, no caso do vinho tinto, a fermentação é realizada com as uvas inteiras, ou seja, a prensagem é feita apenas após a fermentação. No caso do vinho branco, o bagaço não é utilizado na etapa da fermentação, sendo por isso necessária a prensagem das uvas antes da etapa da fermentação. Esta diferença está principalmente associada à necessidade da presença das cascas para dar pigmentos para a cor característica ao vinho tinto.[21], [22]

A fermentação é realizada por duas etapas. Primeiramente ocorre a fermentação alcoólica e, seguidamente, a fermentação malolática. O processo da fermentação alcoólica consiste na transformação do açúcar em álcool pelas leveduras, enquanto, a fermentação malolática, resulta na conversão de ácido málico em ácido láctico de forma a diminuir a acidez e a amaciar o vinho de forma que a qualidade sensorial seja a melhor possível. Ambas as fermentações resultam na emissão direta de CO<sub>2</sub>. No entanto, estas emissões, segundo as diretrizes da FIVS, não são contabilizadas para o cálculo da PC, uma vez que fazem parte do ciclo curto de carbono. Durante a fermentação são utilizados sistemas de refrigeração para controlar e manter a temperatura ideal para cada tipo de vinho durante este processo.[21], [22], [23]

Em seguida, o vinho, após a fermentação, passa por um processo chamado de transfega, que consiste na transferência deste vinho para outro recipiente devidamente desinfetado. Este processo é essencial para que não haja sabores indesejáveis, devido à matéria orgânica e resíduos sólidos que ficam depositados no tanque. A lavagem das cubas gera, assim, águas residuais.[21]

Por fim, o vinho é ainda submetido a um processo de clarificação, com o intuito de eliminar possíveis partículas que se encontrem em suspensão. Para isso, são adicionados produtos enológicos (albumina do ovo, gelatina), que absorvem e precipitam as partículas que se encontram em suspensão no líquido.[21], [24]

Após o vinho adquirir as propriedades necessárias, passa pela etapa do engarrafamento, isto é, as garrafas são enchidas com uma quantidade exata de vinho.

Este processo final de produção tem início na alimentação com garrafas da linha de produção, onde ocorre a lavagem das mesmas com água tratada. Após este processo, as garrafas são enchidas com vinho e procede-se às operações de rolhagem, capsulagem e rotulagem. Tendo isto concluído, as garrafas prontas são empacotadas e armazenadas, ficando aptas para expedição.[2], [23]

A última etapa do ciclo de vida é a distribuição do produto final, desde o local de produção de vinho até ao armazém de retalho (Figura 2). Esta pode ser realizado por diversos meios de transporte como transporte rodoviário, ferroviário e marítimo.[2]

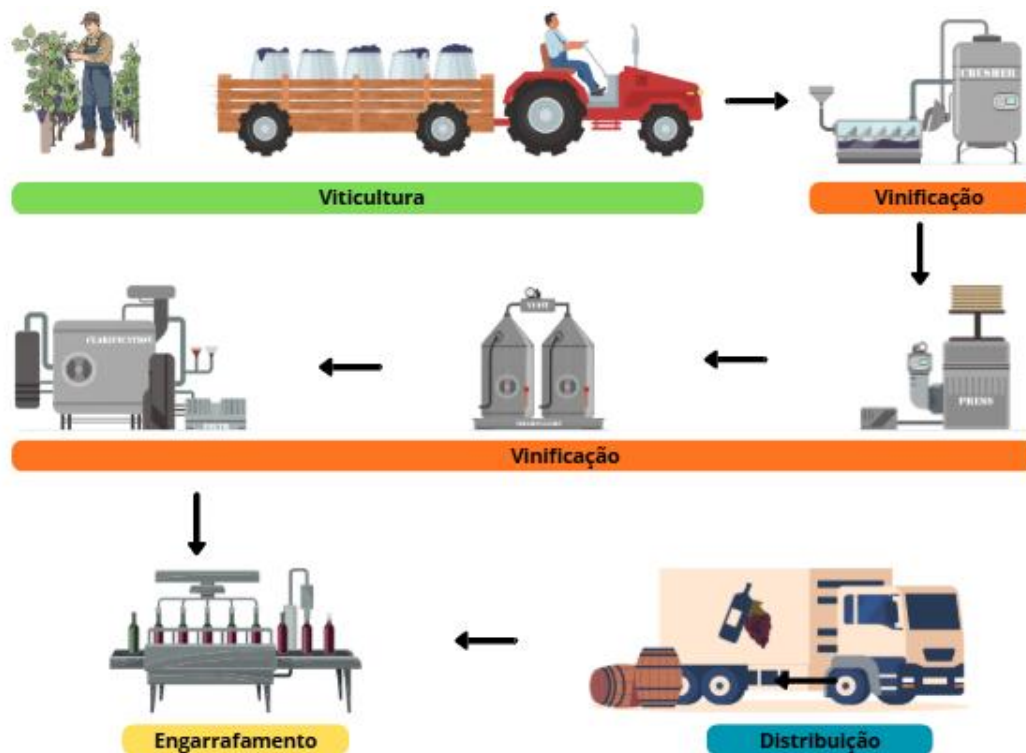


Figura 2: Etapas de ciclo de vida do vinho

## 2.4. Revisão bibliográfica

Um estudo realizado na RVV avaliou o impacto do vinho verde branco produzido em Portugal, num período de 2008 a 2009, sendo considerados as etapas de viticultura, vinificação, armazenamento, distribuição e produção de garrafas. Para isso, foram utilizadas 0,75 L como unidade funcional (UF). Os autores mostraram que a produção deste vinho foi a parte do ciclo de vida que contribuiu mais para as emissões de GEE, com uma PC de 2,0 kgCO<sub>2</sub> eq./UF, representando mais de 50 % do impacto total. Segundo os autores, esta contribuição elevada está associada a fatores como a composição e quantidade de fertilizantes utilizados. Em segundo lugar, a etapa que mais

gerou emissões foi a produção de garrafas de vidro, sobretudo devido à utilização de combustíveis fósseis na produção das garrafas. Por último, 50% dos vinhos foram vendidos em Portugal enquanto os outros 50% foram exportados, usando assim tanto transporte aéreo, como marítimo e rodoviário. Os valores de PC para a distribuição a nível nacional foram de 0,18 kgCO<sub>2</sub>eq/UF, enquanto que a nível mundial foi de 0,053 kgCO<sub>2</sub>eq/UF. [25]

Noutro estudo, foram recolhidos dados de 2010 a 2016 de cinco vinícolas e nove produtores na Alemanha. Com UF de 0,75 L, foram obtidos valores de PC num intervalo de 0,753 a 1,069 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa entre adegas. A viticultura apresentou apenas 19% das emissões totais, sendo o combustível usado nos tratores o principal contribuinte. Neste caso, a etapa vinícola (vinificação e engarrafamento) dominou a PC total, com 81% (0,671 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa), e identificou-se que as garrafas de vidro foram o principal *hotspot*, com 0,390 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa, seguidas da eletricidade que representou 10%. Os autores identificaram algumas estratégias de mitigação, como o aumento do volume da garrafa para 1,0 L como o cenário isolado de maior potencial de mitigação. Ainda identificaram que a combinação da redução de peso, reutilização da garrafa e uso de energias renováveis permitiriam, quando usadas em conjunto, uma redução de cerca de 47% de PC por garrafa de vinho. [26]

Um caso semelhante foi observado num estudo italiano com dados de 2012, em que foi adotado uma estratégia do berço ao túmulo. A embalagem foi o principal contribuinte para a PC total com 0,5992 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa, seguida da distribuição com 0,4388 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa, sendo que UF é de 0,75 L. [27]

Mais recentemente, foi analisada a etapa de distribuição de vinho entre a África do Sul e Alemanha, com UF de 0,75 L. Neste caso, o engarrafamento no destino final reduziu a PC face ao engarrafamento no local, uma vez que o peso bruto transportado foi reduzido. O engarrafamento no local de origem resultou numa PC de 0,31 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa de 0,75 L, enquanto o engarrafamento no destino final, neste caso Alemanha, resultou numa redução de cerca de 41% (0,19 kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa). O tipo de embalagem utilizado também teve impacte significativo, as garrafas de vidro convencional apresentaram valores de PC mais elevados, sendo que as embalagens BIB foram a opção com menor impacte. A combinação do transporte rodoviário e marítimo também permitiu reduzir a PC relativamente ao transporte rodoviário. Os autores concluíram que o cenário mais vantajoso foi o transporte a granel em contentores-tanque com engarrafamento BIB no destino final. [28]

## 2.5. Ferramentas de cálculo para o setor do vinho

Como referido anteriormente, a crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental no setor tem levado ao desenvolvimento de ferramentas específicas para a quantificação das emissões GEE associadas à produção de vinho. As principais ferramentas existentes são: Australian Wine Carbon Calculator e Calculadora da Região Demarcada do Douro.

### 2.5.1. Australian Wine Carbon Calculator

Uma ferramenta já existente para o cálculo das emissões de GEE associadas ao setor vitivinícola é a calculadora australiana. Esta calculadora foi feita com o intuito de ajudar as empresas e produtores vitivinícolas a contabilizar as emissões diretas de GEE, através do cálculo da PC da sua atividade. A calculadora em questão foi desenvolvida no âmbito de uma iniciativa da Federação de Viticultores da Austrália, da Associação da Indústria Vinícola da Austrália do Sul e do Conselho de Uvas Viníferas da Austrália do Sul. Esta ferramenta está disponível gratuitamente desde 2009 para todos os interessados, em formato Excel.[29]

Esta ferramenta considera as etapas da vinha e adega, exclusivamente, tendo em conta apenas as emissões de âmbito 1 e 2. Por conseguinte, esta ferramenta não tem em consideração e não pretende calcular as emissões de âmbito 3.

A ferramenta australiana coloca ainda, um exemplo daquilo que é permitido para os membros do programa Sustainable Winegrowing Austrália, onde é possível comparar os seus valores obtidos e desempenho de PC com outras adegas australianas.

### 2.5.2. Calculadora da Região Demarcada do Douro

Em Portugal, existe uma ferramenta desenvolvida especificamente para o cálculo da PC, mais concretamente para a Região Demarcada do Douro, disponível na plataforma Douro Sustentável do Instituto dos Vinhos do Douro e Porto. Esta ferramenta tem como objetivo auxiliar os produtores de vinho a gerir os impactes que a atividade vitivinícola exerce sobre o ambiente local.[30]

Esta ferramenta considera quatro etapas: viticultura, vinificação, engarrafamento e distribuição, permitindo calcular a PC para cada uma destas etapas de forma individualizada.

## 2.6. Legislação

Importa agora compreender o enquadramento legislativo e normas que impulsionam o desenvolvimento do setor do vinho, sobretudo, no que toca à política climática e à transparência, que justificam a crescente necessidade de quantificação e comunicação das emissões GEE por parte das empresas do setor, e, por isso, justificam a utilização deste tipo de ferramentas de cálculo.

### 2.6.1. Lei Europeia do Clima

A Lei Europeia do Clima torna obrigatória a meta definida no Pacto Ecológico Europeu e está estabelecida no Regulamento (UE) 2021/1119, que tem por objetivo estabelecer o quadro para alcançar a neutralidade climática até 2050 na UE.[31]

Para além de estabelecer a meta vinculativa da neutralidade climática até 2050, que consiste em atingir uma redução do balanço líquido das emissões de GEE a zero, atingindo assim o equilíbrio entre aquilo que são as emissões e a remoção de GEE, esta também após este período, prevê alcançar emissões líquidas dos GEE negativas dentro dos países da UE.[31], [32]

Tendo por vista atingir e cumprir esta meta, o presente regulamento estabeleceu ainda uma meta climática intermediária vinculativa, nomeadamente atingir, até 2030, uma redução líquida de pelo menos 55% das emissões de GEE face ao ano de 1990. As emissões líquidas correspondem às emissões após a dedução das remoções de carbono.[32]

Este regulamento que foi recentemente alterado pelo Regulamento (UE) 2026/667. O novo regulamento veio estabelecer, como estava previsto no regulamento anterior, uma nova meta intermédia em direção à neutralidade carbónica no território da UE. Segundo este novo regulamento, a partir do artigo 1.º n.º 3 devemos atingir até 2040 uma redução das emissões líquidas de 90% face aos níveis registados no ano de 1990.[32], [33]

De facto, a UE foi responsável pela emissão de 3222 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. em 2023, sendo o quarto maior emissor dos GEE a nível mundial. [34] O setor da agricultura foi responsável pela emissão de 10,8% das emissões totais em 2022 dentro da EU. No caso de Portugal, as emissões de GEE no ano de 2023 foram de 53 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> eq. representando uma redução face aos anos de 1990 e 2005 de 9,6% e 38,1%, respetivamente, sendo que o setor agrícola foi responsável pela emissão de 13,1% do total das emissões nacionais. [34], [35]

### 2.6.2. Passaporte digital de produto

O Passaporte Digital do Produto (PDP) é uma ferramenta emergente lançada pelos novos regulamentos da UE. [36] Desta forma, este PDP está integrado no Regulamento de Ecodesign para Produtos Sustentáveis. [37] O PDP consiste num instrumento digital que disponibiliza informações aos intervenientes ao longo de toda a cadeia de valor, permitindo ao utilizador obter informações sobre a origem, os materiais utilizados, o impacto ambiental e recomendações de descarte de produto. [38], [39] Como mencionado anteriormente, uma das componentes que integra este PDP é o impacto ambiental no qual um dos seus indicadores é a PC. [39] O PDP é disponibilizado através de um código QR e a sua utilização surgiu com o intuito de aumentar a transparência dos produtos, apoiando as escolhas do consumidor de forma mais consciente e informada.

### 3. Metodologia da ferramenta

O presente estudo desenvolve uma ferramenta de cálculo de PC para o setor vitivinícola da RVV baseada na ACV. Os limites do sistema considerados vão desde a produção até ao primeiro ponto de retalho. O cálculo da PC está dividido em três etapas: viticultura, vinificação e engarrafamento, e distribuição.

Neste modelo de ferramenta de cálculo, a vinificação e engarrafamento são consideradas na mesma etapa, uma vez que foi demonstrada por parte dos utilizadores a dificuldade em calcular o consumo de água tratada e de energia de forma separada. Esta dificuldade surge porque, em alguns produtores, ambas as etapas são feitas na mesma instalação e não é possível contabilizar de forma individualizada o consumo de água e energia para a vinificação e engarrafamento, levando assim à contagem de forma dupla destes parâmetros. Neste modelo, os dados de atividade empresarial, como o consumo de combustível, a quantidade de embalagens ou a distância percorrida no transporte, são recolhidos e convertidos em emissões de CO<sub>2</sub> eq. Estes dados devem ser relativos ao período de um ano. As UF consideradas nesta ferramenta são: 1 kg de uva, 1 L de vinho e 1 garrafa de vinho (0,75L).

#### 3.1. Caracterização da Quinta

Para efeitos do cálculo da PC total, é feita a caracterização da quinta. É necessário o utilizador inserir os dados relativos à quantidade de uvas produzidas durante um ano em kg assim como o volume de vinho produzido a partir dos kg de uvas obtidas em L. Nesta ferramenta, não é utilizado nenhum fator de conversão de kg de uvas em L de vinho uma vez que este varia consideravelmente de casta para casta, podendo a sua aplicação e, segundo os produtores, introduzir erros significativos nos resultados. O número de garrafas de vinho de 0,75 L produzidas é calculado pela ferramenta, com base no volume total de vinho produzido anualmente. Isto é, o cálculo é feito tendo em conta a divisão do volume de vinho ( $V_{\text{vinho}}$ ) produzido num ano pelo 0,75 L das garrafas de vinho, utilizando a seguinte expressão:

$$N^{\circ} \text{ garrafas de vinho de 0,75L utilizadas} = V_{\text{vinho}}(L)/0,75(L) \quad (1)$$

Para efeitos do cálculo da pegada carbónica na etapa da vinificação, engarrafamento e distribuição o utilizador deve indicar no caso de ter comprado uvas ou mosto no exterior

os respetivos kg de uvas e volume de mosto compradas. Após isto, é feito o cálculo total dos componentes mencionados anteriormente, como mostrado na equação 2.

$$\begin{aligned} \text{Quantidade total de produto} = & \text{Quantidade}_{\text{produzidas na quinta}} + \\ & \text{Quantidade}_{\text{comprada no exterior}} \end{aligned} \quad (2)$$

O cálculo da PC associada às atividades que ocorrem nas etapas da viticultura, vinificação, engarrafamento e distribuição está apresentada na equação 3.

$$PC \text{ (kg CO}_2\text{eq./UF)} = \text{Emissões CO}_2\text{etapa (kg CO}_2\text{eq./UF)} / UF \quad (3)$$

## 3.2. Viticultura

### 3.2.1. Alteração do Uso do Solo

A alteração do uso do solo induzida pelas atividades antropogénicas modifica os reservatórios de carbono no solo, levando à emissão de GEE, nomeadamente CO<sub>2</sub>, e ao decréscimo de carbono que está armazenado no solo. As emissões de CO<sub>2</sub> eq. anual na indústria vitivinícola associadas à alteração do solo de um tipo de uso do solo (prado ou floresta) para o uso cultivo de vinha que aconteceram nos 20 anos anteriores ao ano em análise deve ser consideradas. Desta forma, de acordo com as diretrizes da OIV, para quantificar as emissões devido a esta alteração deve ser considerado uma amortização ao longo de 20 anos, sendo contabilizado em cada ano um vigésimo (5%) do total das emissões. [40]

Desta forma, o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. devido às alterações do uso do solo é efetuado através da multiplicação da área do solo alterado ( $A_{\text{solo alterado}}$ ) em hectares (h), pelos 5% do total das emissões e pelo fator de emissão de conversão do uso do solo, como mostra a seguinte equação:

$$\text{Emissões (kg de CO}_2\text{ eq.)} = A_{\text{solo alterado}}(h) \times 0,05 \times FE(\text{kg de CO}_2\text{ eq./h}) \quad (4)$$

O fator de emissão considerado para a alteração de um solo de prado para terra de cultivo, e de um solo de floresta para terra de cultivo estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1: Fatores de emissão relativos à alteração do uso do solo de prado e floresta para terra de cultivo.

| Uso inicial do solo | Uso do solo convertido | Fator de emissão<br>kg CO <sub>2</sub> eq./h | Fonte |
|---------------------|------------------------|----------------------------------------------|-------|
| Prado               | Terra de cultivo       | 3,48                                         | [40]  |
| Floresta            | Terra de cultivo       | 2,75                                         |       |

### 3.2.2. Produtos fitofarmacêuticos (Pesticidas)

Os produtos fitofarmacêuticos, que incluem herbicidas, fungicidas e inseticidas, são formulados normalmente com uma ou mais substâncias ativas e com outros componentes auxiliares, como, por exemplo, estabilizantes, solventes, emulsionantes, entre outros. [41]

Para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. provenientes da sua aplicação, normalmente a quantificação é feita com base na massa de substância ativa ( $M_{sa}$ ) da formulação do pesticida, e não a sua massa total. Para isso é necessário multiplicar a massa total ( $M_{Total}$ ) do fertilizante pela percentagem de substância ativa ( $\%_{sa}$ ) e dividir o valor obtido por 100. A informação sobre a percentagem (%) de substância ativa deve ser preenchida pelo utilizador de acordo com as informações disponibilizadas nos rótulos e fichas técnicas dos produtos fitofarmacêuticos utilizados. Posteriormente, a massa de substância ativa é multiplicada pelo fator de emissão que está associado à família de pesticida em questão.[42]

Desta forma, para efeitos do cálculo das emissões, é feito o somatório de todas as famílias de pesticidas como expresso na equação 2.

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = \sum (M_{sa}(kg) \times FE(kg de CO_2 eq./kg)) \quad (5)$$

A tabela 2, apresenta os fatores de emissão considerados, expressos em kg CO<sub>2</sub> eq./kg de substância ativa.

Tabela 2: Fatores de emissão, por substância ativa, para pesticidas.

| Pesticida   | Fator de Emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Fonte |
|-------------|-------------------------------------------------|-------|
| Herbicidas  | 35,80                                           | [43]  |
| Fungicidas  | 30,00                                           |       |
| Inseticidas | 30,00                                           |       |

### 3.2.3. Fertilizantes

A aplicação de fertilizantes durante a etapa da viticultura gera emissões de CO<sub>2</sub> eq. Para esta ferramenta são considerados solução azotada, fertilizantes binário e terciários, estrume e composto. Os fertilizantes fornecem ao solo os nutrientes essenciais ao desenvolvimento da vinha, nomeadamente azoto (N), fósforo (P) e potássio (K), sendo a sua aplicação uma prática corrente na vinha.

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. geradas pela aplicação destes fertilizantes segue uma abordagem semelhante à adotada nos produtos fitofarmacêuticos, na qual é necessário determinar a massa de substância ativa (M<sub>sa</sub>). Para isso é necessário o utilizador indicar a massa total (M<sub>Total</sub>) de fertilizantes aplicada e verificar qual a % de substância ativa (%<sub>sa</sub>) do elemento nutritivo (N, K ou P) que consta no rótulo do produto. Posteriormente, a massa de substância ativa (M<sub>sa</sub>) determinada é multiplicada pelo fator de emissão associado ao elemento nutritivo.[42]

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_{2eq}) = \Sigma(M_{sa}(kg) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./kg)) \tag{6}$$

No caso de serem utilizados fertilizantes compostos, como é o caso dos fertilizantes binários e ternários, deve-se determinar, para a massa total do fertilizante, a percentagem de substância ativa de cada elemento nutritivo e multiplicar pelo fator de emissão, sendo os valores obtidos somados posteriormente de modo a obter o total de emissões associado à aplicação do fertilizante.

$$\begin{aligned}
&Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) \\
&= \Sigma(M_{elemento\ nutritivo\ Fert.1}(kg) \times FE(kg\ deCO_2eq./kg)) \\
&+ M_{elemento\ nutritivo\ Fert2.}(kg) \times FE\ (kg\ deCO_2eq./kg))
\end{aligned}
\tag{7}$$

Por exemplo, no caso de ser um fertilizante binário, se for constituído por 10% de K, 30% de P faz-se a massa total a multiplicar pelos 10% da substância ativa de K a dividir por 100 e multiplica-se pelo respetivo fator de emissão e assim também para o P. Por fim faz-se o somatório dos valores obtidos para K e P, de forma a obter a totalidade das emissões de CO<sub>2</sub> devido à aplicação do fertilizante binário.

No caso de o fertilizante utilizado ser estrume, e dada a sua composição variável, a quantificação de emissões de CO<sub>2</sub> eq. considera a massa de estrume ( $M_{\text{estrume}}$ ), o fator de emissão e a concentração típica de azoto no estrume ( $C_{\text{azoto no estrume}}$ ). O cálculo é feito de acordo com a equação 8.

$$\begin{aligned} \text{Emissões (kg de CO}_2 \text{ eq.)} \\ = (M_{\text{estrume}}(\text{kg}) \times C_{\text{azoto no estrume}}(\text{kg de N/tde estrume}) \\ \times FE(\text{kg de CO}_2 \text{ eq./kg})/100 \end{aligned} \quad (8)$$

Quando o fertilizante aplicado é composto, o cálculo é efetuado diretamente através da multiplicação da massa de composto ( $M_{\text{composto}}$ ) pelo respetivo fator de emissão que lhe é associado. A equação 9 mostra o cálculo.

$$\text{Emissões (kg de CO}_2 \text{ eq)} = M_{\text{composto}}(\text{kg}) \times FE(\text{kg de CO}_2 \text{ eq/kg}) \quad (9)$$

Os fatores de emissão utilizados para os diferentes tipos de fertilizantes que podem ser aplicados na etapa da viticultura estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Fatores de emissão, para fertilizantes.

| Produto                      | Fator de emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Fonte |
|------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| Solução azotada (%N)         | 1,408                                           | [42]  |
| Fertilizantes ternários (%K) | 1,445                                           |       |
| Fertilizantes ternários (%P) | 0,256                                           |       |
| Fertilizantes ternários (%N) | 0,139                                           |       |
| Fertilizantes binários (%N)  | 0,155                                           |       |
| Fertilizantes binários (%P)  | 0,121                                           |       |
| Fertilizantes binários (%K)  | 0.121                                           |       |
| Estrume                      | 3,32                                            | [44]  |
| Composto                     | 0,284                                           | [45]  |

As emissões de N<sub>2</sub>O assumem uma relevância particular no contexto das emissões de CO<sub>2</sub> eq. na etapa da viticultura, visto que é um gás com efeito de estufa com um potencial de aquecimento global a 100 anos de 273 vezes superior ao do CO<sub>2</sub>. [46]

Os processos de nitrificação e desnitrificação produzem naturalmente este gás, que é libertado diretamente do solo para a atmosfera. Para além disso, as atividades humanas, nomeadamente a aplicação de fertilizantes de azoto nas práticas agrícolas, intensificam significativamente a emissão deste gás. Estas emissões devem ser contabilizadas e calculadas, e foram calculadas com base nos fatores de emissão disponibilizados pela OIV.[40] No caso de o azoto ser proveniente da aplicação de fertilizantes, o fator de emissão utilizado deve ser o 0,01. [40]

Quando os fertilizantes têm na sua constituição azoto este deve ser quantificado nas emissões de CO<sub>2</sub> eq. Neste caso, os fertilizantes a considerar são o estrume, solução azotada, fertilizantes ternários e fertilizantes binários (quando têm na sua composição N). Para isso, deve ser acrescentada uma multiplicação ao cálculo mencionado no ponto anterior, o potencial de aquecimento do gás N<sub>2</sub>O que é 273, o fator de conversão N<sub>2</sub>O-N para N<sub>2</sub>O baseado no rácio das massas moleculares dos dois compostos (44/28) e, por fim, o fator de emissão correspondente.[47]

Desta forma, o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>eq. proveniente da aplicação de um fertilizante que tenha na sua constituição azoto, deve ser feito segundo a seguinte expressão:

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = \Sigma(M_{sa}(kg) \times FE(kg de CO_2 eq./kg) \times (44/28) \times 0,01 \times GWP_{N_2O} \quad (10)$$

#### 3.2.4. Calagem do Solo

O processo de calagem do solo serve para regular a acidez e é essencial para ajustar o pH do solo antes da aplicação de fertilizantes. A correção de acidez do solo é importante, uma vez que o pH do solo é um fator abiótico do solo que regula a atividade e a estrutura microbológica do solo, reduz a probabilidade de pragas e doenças e promove o desenvolvimento e crescimento das plantas de forma saudável. No caso da viticultura este processo envolve a adição de carbonatos, nomeadamente carbonato de cálcio e magnésio (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) e carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>). [48] Neste caso, o fator de emissão considerado foi de 0,0930 (kg CO<sub>2</sub> eq. /kg de carbonato aplicado). [49]

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. associadas à aplicação de carbonatos foram feitas com base na seguinte fórmula:

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = M_{carbonatos}(kg) \times FE(kg de CO_2 eq./kg) \quad (11)$$

#### 3.2.5. Consumo de Energia

##### 3.2.5.1. Eletricidade

A Energias De Portugal (EDP) é a entidade fornecedora de eletricidade líder no mercado em Portugal, tendo isto em conta, o valor do fator de emissão utilizado associado à produção de eletricidade corresponde aos valores disponibilizados pela EDP. [50] Segundo os valores anuais de emissões de CO<sub>2</sub> mais recentes à data do desenvolvimento da ferramenta, em 2024, para clientes empresariais, o valor considerado foi de 0,273 kg/kWh. [51] No caso de a energia ser proveniente de fontes energéticas renováveis (autoprodução), o fator de emissão a considerar é zero. De forma a quantificar as emissões relativas ao consumo de eletricidade, é necessário que o utilizador insira os dados de entrada, sendo este o consumo de eletricidade. A recolha dos dados de consumo deve basear-se na fatura mensal da entidade fornecedora de eletricidade.

O cálculo das emissões anuais de CO<sub>2</sub> eq. para a eletricidade foi feita com base na seguinte fórmula:

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = Consumo(kWh) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./kWh) \tag{12}$$

### 3.2.5.2. Gás natural

As emissões associadas ao consumo de gás natural resultam da sua combustão. Estas emissões são calculadas com base no consumo de gás natural (Consumo) e no fator de emissão respetivo (0,203 kg CO<sub>2</sub> eq./kWh). [52]

O cálculo das emissões foi efetuado através da multiplicação, destes dois valores conforme apresentado na equação 13.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = Consumo(kWh) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./kWh) \tag{13}$$

### 3.2.6. Consumo de gás de garrafa

Durante a etapa vitícola são utilizados gases de garrafa, nomeadamente butano e propano. A utilização destes gases gera emissões de GEE devido à queima destes combustíveis nas operações agrícolas. As emissões geradas são calculadas através da multiplicação da massa de combustível consumido (M<sub>combustível consumido</sub>) pelo fator de emissão, como expresso na equação 14.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_{2eq}) = Massa_{combustível\ consumido}\ (kg) \times FE(kg\ de\ CO_2eq./kg) \tag{14}$$

Os fatores de emissão utilizados para o gás butano e propano estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Fator de emissão, associados à combustão de gás butano e propano.

| Tipo de combustível | Fator de emissão<br>kg CO <sub>2</sub> eq./kg | Fonte |
|---------------------|-----------------------------------------------|-------|
| Gás butano          | 2,9                                           | [53]  |
| Gás propano         | 2,9                                           |       |

### 3.2.7. Consumo de combustíveis em equipamentos móveis

A utilização de equipamentos operacionais móveis, como tratores e máquinas agrícolas, durante a viticultura resulta em emissões de GEE que surgem da combustão de

combustíveis fósseis utilizados para operar esses equipamentos. Para efeitos desta ferramenta, foi seguida a abordagem idêntica, mas simplificada, relativamente à recomendada pela calculadora internacional de pegada carbónica do vinho (IWCC). [47] Neste caso, o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>eq. provenientes das atividades que ocorrem no campo e da utilização de equipamentos móveis para transporte foi feito através da multiplicação do volume de combustível consumido ( $V_{\text{combustível consumido}}$ ), em L pelo respetivo fator de emissão. Tendo em conta o fator de emissão para os combustíveis (gasolina e gasóleo) considerado já não foi necessário fazer o passo da conversão referente à quantidade combustível numa componente energética (através da sua multiplicação pelo poder calorífico inferior), simplificando assim o processo de cálculo sem comprometer a qualidade dos resultados.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2eq.) = V_{combustível\ consumido}\ (L) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./L) \qquad (15)$$

Os fatores de emissão do gasóleo e da gasolina foram obtidos a partir de uma fatura disponibilizada pelos fornecedores de combustível (gasolineiras), EN 16942, DL n.º84/2022 e estão apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Fatores de emissão, para a gasolina 95 e gasóleo.

| Tipo de combustível | Fator de emissão<br>kg CO <sub>2</sub> eq./L |
|---------------------|----------------------------------------------|
| Gasolina 95         | 1,9                                          |
| Gasóleo             | 2,3                                          |

### 3.2.8. Resíduos gerais

#### 3.2.8.1. Resíduos Indiferenciados

Existem emissões que são comuns a todos os tipos de resíduos, resultantes principalmente do transporte e do funcionamento das instalações de tratamento, estas são modeladas tendo por base o conceito de emissões transversais.[40]

Como o tratamento dos resíduos não é feito pela própria empresa esta não tem controlo sobre a forma como os resíduos indiferenciados são geridos. Isto torna difícil para as empresas do setor vitivinícola ter valores específicos para as emissões provenientes do transporte, tratamento e eliminação de resíduos, uma vez que, estes valores dependem de vários fatores como a tecnologia utilizada para o tratamento e valorização dos

resíduos e o transporte utilizado. Assim, para estimar as emissões associadas ao transporte e tratamento destes resíduos, as empresas devem considerar valores que sejam uma aproximação. Em Portugal, em 2024, a produção de resíduos urbanos (RU) foi de 5 550 mil toneladas. Em termos de tratamento e eliminação de resíduos indiferenciados, mais de metade (54%) dos resíduos produzidos foram depositados em aterro, enquanto 17% foram encaminhados para valorização energética por incineração.[54]

As emissões de GEE associadas à operação das infraestruturas de tratamento de resíduos devem ser tidas em conta. Este tratamento pode ser feito por incineração e o fator de emissão é 0,018 kg CO<sub>2</sub> eq./kg ou por deposição em aterro e o fator de emissão é 0,015 kg CO<sub>2</sub> eq./kg. [40]O fator de emissão associadas ao transporte dos resíduos é 0,018 kg CO<sub>2</sub> eq./kg.[40]

O cálculo das emissões que resultam do transporte, tratamento e eliminação são calculadas de acordo com a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Emissões (kg de CO}_2 \text{ eq.)} = & (M_{Ri} \text{ (kg)} \times FE_{transporte} \text{ (kg de CO}_{2eq}/\text{kg})) + \\ & (M_{Ri} \text{ (kg)} \times 0,54 \times FE_{aterro} \text{ (kg de CO}_{2eq}/\text{kg})) + (M_{Ri} \text{ (kg)} \times 0,17 \times \\ & FE_{incineração} \text{ (kg de CO}_{2eq}/\text{kg})) \end{aligned} \quad (16)$$

### 3.2.8.2. Vidro, Plástico e Papel/Cartão

Quando os resíduos são reciclados e o material é recuperado, são geradas emissões evitadas, ou seja, ao reutilizar as matérias-primas, as emissões provenientes da produção de novas matérias-primas são reduzidas. Este processo desempenha assim um papel fundamental na redução das emissões de CO<sub>2</sub> eq.[40]

Neste contexto, para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> eq. evitadas pela reciclagem de resíduos como o vidro, plástico e papel/cartão, deve ter-se em consideração a quantidade de resíduo reciclado ( $M_{resíduo}$ ), o fator de emissão evitada para misturas dos resíduos ( $FE_{evitado}$ ) e a fração de resíduos proveniente de matéria-prima virgem ( $F_{virgem}$ ). Isto é, a fração não reciclada do resíduo, por exemplo, no caso do resíduo ser composto por 60 % de material reciclado e 40% de material não reciclado, somente os 40% do material não reciclado/virgem devem ser contabilizados no cálculo das emissões evitados. Desta forma, é evitada uma dupla contabilização dos benefícios ambientais provenientes da reciclagem. A quantidade de resíduo reciclado deve ser indicada pela empresa vitivinícola que deve pesar a quantidade de plástico enviada para a reciclagem.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = (M_{resíduo}\ (kg) \times FE_{evitado}\ (kg\ de\ CO_2\ eq./kg) \times (F_{virgem}(\%)/100)$$
(17)

Os dados mais recentes disponibilizados pela APA, em 2022, relativos à taxa de reciclagem de resíduos de embalagem de vidro, plástico e papel/cartão, permitiram o cálculo da percentagem de resíduo que vai ser reciclado pela primeira vez.[55] Estes valores e o fator de emissão associado às emissões evitadas para cada um destes resíduos estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Taxa de reciclagem, fração virgem e fator de emissão evitado para os resíduos de vidro, plástico e papel/cartão.

| Material     | Taxa de reciclagem (%) | Fração virgem (%) | FE evitado kg CO <sub>2</sub> eq./kg |
|--------------|------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| Vidro        | 56,9*                  | 43,1              | 0,709**                              |
| Plástico     | 37,3*                  | 62,7              | 1,363**                              |
| Papel/Cartão | 64,4*                  | 35,6              | 0,679**                              |

\*[55]

\*\*[40]

### 3.2.9. Águas residuais

Os sistemas de águas residuais conduzem à emissão de GEE, nomeadamente o CH<sub>4</sub>. Estas emissões estão associadas ao tratamento das lamas e das águas residuais e constituem as emissões de CO<sub>2</sub> eq. O CH<sub>4</sub> emitido está diretamente relacionado com a concentração de matéria orgânica presente no efluente líquido, sendo esta quantificada através da Carência Química de Oxigénio (CQO) expressa em mg/L.[47]

O potencial de aquecimento global deste gás é 29,8.[46]Assumindo que o metano gerado não é recolhido nem queimado, ou seja, todo o metano gerado é libertado para a atmosfera, o cálculo das emissões anuais de CO<sub>2</sub> eq. associadas ao tratamento de águas residuais, é feito com base na seguinte fórmula:

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = W\ (m^3) \times CQO\ (mg/L) \times 0,1949 \times GWP/1000$$
(18)

### 3.2.10. Embalagens de produtos fitofarmacêuticos

Depois de utilizados, as embalagens dos produtos fitofarmacêuticos são guardadas, encaminhadas e depositadas em locais devidamente licenciados. A VALORFITO fica responsável pela gestão de embalagens primárias e secundárias de produtos fitofarmacêuticos, biocidas, sementes, fertilizantes, rações e batata de semente. [56] Para efeitos desta ferramenta as embalagens de produtos fitofarmacêuticos utilizados são de politereflato de polietileno (PET).

A produção, tratamento e valorização dos resíduos gera emissões de GEE. Desta forma, para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. é necessário ter em conta as emissões de GEE provenientes da produção das embalagens de PET e das emissões associadas ao tratamento e valorização do resíduo seja ele por reciclagem ou por incineração.

Para calcular as emissões associadas à produção de embalagens PET, é tido em consideração a massa das embalagens ( $M_{emb}$ ) que deve ser indicada pelo utilizador e o fator de emissão que, no caso, é 3,49 kg CO<sub>2</sub> eq./kg. [42]

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = M_{emb} (kg) \times FE (kg de CO_2 eq./kg) \quad (19)$$

No caso da quantificação das emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O provenientes do tratamento das embalagens, 10% dos resíduos recolhidos são enviados para valorização energética (incineração) e os restantes 90% são enviados para reciclagem. [42] O fator de emissão para o tratamento das embalagens por incineração e reciclagem é 2,313 kg CO<sub>2</sub> eq/kg e 2,029 kg CO<sub>2</sub> eq/kg, respetivamente. [42] Tendo isto em conta, as emissões de CO<sub>2</sub> eq. associados ao tratamento das embalagens são calculadas tendo em conta a equação 20.

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = (M_{emb} (kg) \times 0,90 \times FE_{reciclagem} (kg de CO_2 eq./kg)) + (M_{emb} (kg) \times 0,10 \times FE_{incineração} (kg de CO_2 eq./kg)) \quad (20)$$

O cálculo das emissões totais para as embalagens de produtos fitofarmacêuticos consiste no somatório das emissões associadas à produção e ao tratamento das embalagens, de acordo com a seguinte equação:

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = (Emissões_{produção} + Emissões_{tratamento}) \quad (21)$$

### 3.2.11. Transporte das uvas da vinha para a adega

As emissões provenientes do consumo de combustíveis devido ao transporte das uvas da vinha até à adega devem ser contabilizadas nesta etapa, no caso de não terem sido previamente contabilizadas no cálculo das emissões dos equipamentos móveis. Para este cálculo é necessário o utilizador indicar os seguintes dados de entrada: a massa de uvas transportadas ( $M_{uvas}$ ), distância entre a vinha e a porta da adega ( $D_{va}$ ) e o número de deslocações realizadas entre a vinha e adega ( $N_{va}$ ), sendo as emissões de  $CO_2$  eq. determinadas de acordo com a seguinte expressão:

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = 2 \times M_{uvas} (t) \times D_{va} (km) \times N_{va} \times FE(kg de CO_2 eq./t*km) \quad (22)$$

O fator de emissão associado à utilização de transporte rodoviário agrícola é 0,398 kg  $CO_2$  eq./t\*km.[49]

## 3.3. Vinificação

### 3.3.1. Compra de vinho ao exterior

Para o caso de haver necessidade por parte das empresas de comprar vinho externamente, as emissões associadas a esta compra devem ser incluídas. O fator de emissão recomendado por parte a IWCC para ter conta neste caso é de 2,7 kg  $CO_2$  eq./L de vinho adquirido.[47] Para além disso, este valor já foi igualmente utilizado em outros estudos de determinação de PC de vinhos em Portugal. [57] Apesar de elevado, é necessário ter em conta que, por vir do exterior, este vinho pode ser transportado por via aérea ou por transporte rodoviário de longas distâncias, ambos associados a emissões bastante significativas.

O cálculo consiste na multiplicação do volume de vinho ( $V_{vinho}$ ) comprado pelo respetivo fator de emissão, como expresso na equação 23.

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = V_{vinho} (L) \times FE(kg de CO_2 eq./L) \quad (23)$$

### 3.3.2. Produtos enológicos

Durante o processo de vinificação do vinho são utilizados diversos produtos enológicos, nomeadamente, albumina de ovo, gelatina e fermentos. As emissões associadas à utilização destes produtos foram calculadas com base na massa de cada produto enológico ( $M_{produto\ enológico}$ ) utilizado e no respetivo fator de emissão. As emissões totais

correspondem à soma das emissões individuais de cada produto como mostra a equação 24.

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = \sum (M_{produto\ enológico}(kg) \times FE(kg de CO_2 eq./kg)) \quad (24)$$

Os fatores de emissão específicos considerados para cada produto enológico estão indicados na tabela 7.

Tabela 7: Fator de emissão, relativos aos diversos produtos enológicos.

| Produto                               | Fator de emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Fonte |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> ) | 0,31                                            | [49]  |
| Fermentos                             | 0,32                                            | [57]  |
| Ácido tartárico                       | 2,00                                            | [40]  |
| Fosfato de diamónio (DAP)             | 1,62                                            | [49]  |
| Caseinato de potássio                 | 1,51                                            | [40]  |
| Perlite                               | 0,05                                            | [49]  |
| Bentonite                             | 0,05                                            | [49]  |
| Diatomite                             | 1,01                                            | [40]  |
| Celulose                              | 0,37                                            |       |
| Ácido cítrico                         | 6,03                                            | [49]  |
| Ácido sórbico                         | 0,81                                            | [40]  |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) | 0,81                                            | [49]  |
| Oxigénio                              | 0,47                                            | [49]  |
| Bissulfito de potássio                | 1,47                                            | [40]  |
| Gelatina                              | 1,51                                            |       |
| Albumina de ovo                       | 1,51                                            |       |
| Soro de leite                         | 0,14                                            | [49]  |
| Goma arábica                          | 0,40                                            | [40]  |
| Proteína do leite                     | 5,11                                            |       |
| Leite em pó                           | 5,11                                            |       |
| Açúcar (sacarose)                     | 0,2                                             |       |
| Taninos                               | 2,20                                            |       |
| Sulfato de amónio                     | 1,02                                            | [49]  |

|                                 |      |      |
|---------------------------------|------|------|
| Cloreto de sódio                | 0,28 | [49] |
| Outros ácidos e respetivos sais | 3,30 | [40] |
| Carbonato de cálcio             | 0,40 | [49] |
| Lascas de madeira               | 0,01 | [40] |
| Ativadores da fermentação       | 1,57 | [57] |

### 3.3.3. Uso de gases inertes nas cubas

Durante a vinificação, são utilizados gases inertes nas cubas de fermentação e de armazenamento de vinho, nomeadamente argon e nitrogénio (azoto), com o intuito de proteger o vinho da oxidação. [58]

As emissões são calculadas diretamente através da multiplicação da massa de gás ( $M_{gás}$ ) utilizado pelo fator de emissão. Assim sendo, o cálculo das emissões de  $CO_2eq.$  relativamente à utilização de gases inertes, é:

$$Emissões (kg de CO_{2eq}) = \Sigma (M_{gás} (kg) \times FE (kg de CO_{2eq}/kg)) \quad (25)$$

Os fatores de emissão específicos considerados para os gases argon e azoto estão apresentados na tabela 8.

Tabela 8: Fatores de emissão, para os gases argon e azoto.

| Gases | Fator de emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Fonte |
|-------|-------------------------------------------------|-------|
| Árgon | 1,22                                            | [49]  |
| Azoto | 0,19                                            |       |

Recentemente, como alternativa ao argon e azoto, começa a surgir a utilização de  $CO_2$ , no entanto, neste caso, este não deve ser contabilizado como emissão, uma vez que pertence a ciclo anual do carbono.

### 3.3.4. Produtos de lavagem das cubas

Para a limpeza das cubas de vinho são utilizados produtos de lavagem específicos, como por exemplo, ácido sulfúrico, soda cáustica e ácido nítrico, cuja utilização está

associada a emissões de GEE. As emissões são calculadas através da multiplicação da massa de cada produto ( $M_{\text{produto}}$ ) utilizado pelo respetivo fator de emissão.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = \Sigma(M_{\text{produto}}\ (kg) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./kg)) \tag{26}$$

Os fatores de emissão específicos considerados para os produtos de lavagem das cubas estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9: Fatores de emissão, relativos aos produtos utilizados para lavagem das cubas.

| Produto                                          | Fator de emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./kg) | Fonte |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------|
| Água oxigenada (50%)                             | 1,82                                            | [49]  |
| Ácido sulfúrico                                  | 0,13                                            |       |
| Soda cáustica (hidróxido de sódio líquida a 50%) | 0,90                                            |       |
| Hidróxido de sódio (sólido)                      | 0,46                                            | [40]  |
| Hipoclorito de sódio 15%                         | 1,60                                            | [49]  |
| Ácido fosfórico                                  | 0,93                                            |       |
| Ácido nítrico (50%)                              | 1,07                                            |       |
| Sulfato de sódio                                 | 0,71                                            |       |
| Produtos anti-espuma                             | 1,83                                            | [40]  |

### 3.3.5. Recarga do sistema de refrigeração

Na indústria vitivinícola durante a etapa da vinificação são utilizados sistemas de refrigeração onde, por vezes, ocorrem fugas ou derrames o que provoca a emissão de GEE. O método de cálculo utilizado para determinar as emissões provenientes destas fugas baseia-se na utilização de um fator de potencial de aquecimento global do gás (Tabela 10) o que permite converter o gás fugitivo a um equivalente de CO<sub>2</sub>. [47]

Desta forma, o cálculo das emissões corresponde à multiplicação da massa de recarga dos gases ( $M_{\text{gás}}$ ) utilizados durante um ano pelo respetivo fator de potencial de aquecimento global. Como expresso na equação 27, as emissões totais correspondem ao somatório das emissões associadas aos diferentes gases.

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = \Sigma(M_{\text{gás}}(kg) \times GWP) \tag{27}$$

O potencial de aquecimento global considerado para os diferentes gases de sistema de refrigeração está apresentado na tabela 10.

Tabela 10: Potencial de aquecimento global, para os gases e misturas de gases utilizados na recarga do sistema de refrigeração.

| <b>Gás</b>         | <b>Potencial de Aquecimento Global</b> | <b>Fonte</b> |
|--------------------|----------------------------------------|--------------|
| Dióxido de Carbono | 1                                      | [46]         |
| HFC-23             | 14600                                  |              |
| HFC-32             | 771                                    |              |
| HFC-41             | 135                                    |              |
| HFC-43-10mee       | 1600                                   |              |
| HFC-125            | 3740                                   |              |
| HFC-134            | 1260                                   |              |
| HFC-134a           | 1530                                   |              |
| HFC-152            | 21,5                                   |              |
| HFC-152a           | 164                                    |              |
| HFC-143            | 364                                    |              |
| HFC-143a           | 5810                                   |              |
| HFC-227ea          | 3600                                   |              |
| HFC-236cb          | 1350                                   |              |
| HFC-236ea          | 1500                                   |              |
| HFC-236fa          | 8690                                   |              |
| HFC-245fa          | 962                                    |              |
| HFC-365mfc         | 914                                    |              |
| R-404A             | 3922                                   | [59]         |
| R-407A             | 2107                                   |              |
| R-407B             | 2804                                   |              |
| R-407C             | 1774                                   |              |
| R-407D             | 1627                                   |              |
| R-407E             | 1552                                   |              |
| R-410A             | 2088                                   |              |
| R-410B             | 2229                                   |              |
| R-411A             | 14                                     |              |
| R-411B             | 4                                      |              |

|        |       |  |
|--------|-------|--|
| R-413A | 2053  |  |
| R-415A | 22    |  |
| R-415B | 93    |  |
| R-417A | 2346  |  |
| R-422A | 3143  |  |
| R-422D | 2729  |  |
| R-423A | 2280  |  |
| R-424A | 2440  |  |
| R-426A | 1509  |  |
| R-428A | 3607  |  |
| R-434A | 3245  |  |
| R-508A | 13214 |  |
| R-508B | 13396 |  |

### 3.3.6. Fontes estacionárias

As fontes estacionárias são os equipamentos fixos como por exemplo, geradores ou caldeiras, nas quais ocorre combustão de combustíveis fósseis o que conduz à emissão de GEE. Para determinar as emissões de CO<sub>2</sub> eq. proveniente destes equipamentos de combustão estacionária é multiplicado do volume de combustível consumido ( $V_{\text{combustível consumido}}$ ) pelo respetivo fator de emissão. [15]

$$\begin{aligned}
 & \text{Emissões (kg de CO}_2 \text{ eq.)} \\
 & = \Sigma(V_{\text{combustível consumido}} (L) \times FE(\text{kg de CO}_2 \text{ eq./L}))
 \end{aligned}
 \tag{28}$$

Os fatores emissão para os combustíveis gasolina 95, gasóleo, GPL, gás propano, butano e gás natural utilizados nas fontes estacionárias estão indicados na tabela 11.

Tabela 11: Fator de emissão dos diferentes tipos de combustíveis utilizados nas fontes estacionárias.

| Tipo de combustível                    | Fator de emissão | Fonte                         |
|----------------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Gasolina 95 (kgCO <sub>2</sub> eq/L)   | 1,9              | EN 16942,<br>DL<br>n.º84/2022 |
| Gasóleo (kgCO <sub>2</sub> eq/L)       | 2,3              |                               |
| GPL (kgCO <sub>2</sub> eq/L)           | 1,3              | [53]                          |
| Gás butano (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)   | 2,9              |                               |
| Gás propano (kgCO <sub>2</sub> eq/kg)  | 2,9              |                               |
| Gás natural (kgCO <sub>2</sub> eq/kWh) | 0,203            | [52]                          |

### 3.3.7. Transporte do vinho da adega para o armazém

Quando a adega e a zona de engarrafamento (armazém) se encontram situados em localizações diferentes, é necessário ter em conta as emissões provenientes deste transporte. Para a quantificação das emissões é necessário ter em consideração a massa de vinho ( $M_{vinho}$ ), que são transportadas e a distância entre a adega e o local de armazém ( $D_{aa}$ ) e, ainda, o número de deslocações efetuadas entre estes dois locais ( $N_{aa}$ ). Para além disso, é necessário ter em consideração os fatores de emissão correspondentes para a meio de transporte utilizado durante este processo. No caso de ser utilizado um trator, o fator de emissão aplicado é de 0,398 kg CO<sub>2</sub> eq./t\*km. [49] Para distâncias mais longas e caso seja necessário utilizar um camião cisterna, deverá ser aplicado o fator de emissão de 0,157 kg CO<sub>2</sub> eq./t\*km.[49]

$$\begin{aligned}
 &Emissões (kg de CO_2 eq.) \\
 &= 2 \times M_{vinho} (t) \times D_{aa} (km) \times N_{aa} \times FE (kg de CO_2 eq./t*km)
 \end{aligned}
 \tag{29}$$

## 3.4. Engarrafamento

### 3.4.1. Materiais de engarrafamento

Os materiais utilizados no engarrafamento do vinho, como por exemplo, garrafas de vidro, rolhas de cortiça e rótulos de papel, também estão associados a emissões de GEE que resultam da sua produção. Neste caso, o cálculo é feito para cada material

multiplicando a quantidade utilizada ( $M_{material}$ ) pelo respetivo fator de emissão, sendo as emissões totais o somatório de todos os materiais considerados.

$$Emissões (kg de CO_2 eq.) = \Sigma(M_{material} (kg) \times FE(kg de CO_2 eq./kg)) \quad (30)$$

Os fatores de emissão para os materiais de engarrafamento utilizados no engarrafamento estão indicados na tabela 12.

Tabela 12: Fator de emissão, para materiais de engarrafamento.

| Produto                                                | Fator de emissão | Unidades                      | Fonte |
|--------------------------------------------------------|------------------|-------------------------------|-------|
| Garrafa de vidro                                       | 0,47             | kg CO <sub>2</sub> eq./0.75 L | [60]  |
| Garrafa PET                                            | 0,18             |                               |       |
| Bag in box                                             | 0,05             |                               |       |
| Latas tetra pak                                        | 0,06             | kg CO <sub>2</sub> eq./1 L    |       |
| Cápsula de 35% alumínio/LDPE                           | 7,7              | kg CO <sub>2</sub> eq./kg     | [40]  |
| Cápsula de estanho                                     | 17,1             |                               |       |
| Rolha de cortiça natural                               | 0,44             |                               |       |
| Rolha de cortiça natural com cápsula de PVC            | 2,49             |                               |       |
| Rolha de cortiça natural aglomerada com cápsula de PVC | 4,25             |                               |       |
| Muselet                                                | 3,85             |                               |       |
| Rótulo de papel                                        | 2,01             |                               | [57]  |
| Rótulos de polipropileno e polietileno                 | 7,35             |                               |       |
| Cola(amido)                                            | 0,55             |                               |       |
| Cartão canelado                                        | 0,66             |                               |       |

### 3.5. Vinificação e engarrafamento

#### 3.5.1. Consumo de água tratada

A água tratada é utilizada nos processos de vinificação e engarrafamento em atividades como a limpeza e lavagem de equipamentos e instalações. [61]

As emissões de CO<sub>2</sub> eq. são calculadas tendo em conta o consumo de água tratada ( $V_{\text{água consumida}}$ ) e o fator de emissão associado a esta. A recolha dos dados de consumo deve ser feita pelas empresas tendo por base na fatura mensal do serviço municipal de abastecimento de água, medido em m<sup>3</sup>. O fator de emissão associado é 0,307 kg CO<sub>2</sub> eq./m<sup>3</sup>. [49]

Desta forma, o cálculo devido às emissões de CO<sub>2</sub> eq. provenientes do consumo de água tratada consiste na multiplicação do consumo de água tratada pelo fator de emissão como mostra na equação 31.

$$Emissões (kg de CO_{2eq}) = V_{\text{água tratada consumida}}(m^3) \times FE(kg de CO_{2eq}/m^3) \quad (31)$$

#### 3.5.2. Parâmetros repetidos

Nesta etapa (viticultura e engarrafamento), a ferramenta calcula as emissões relativas ao consumo de energia, resíduos gerais e águas residuais. A metodologia adotada para o cálculo das emissões associadas a estes parâmetros é exatamente igual ao descrito nas secções 3.2.5, 3.2.8 e 3.2.9, respetivamente.

### 3.6. Distribuição

Tendo em conta que o limite organizacional considerado para efeitos desta ferramenta é até ao primeiro ponto de venda, as emissões associadas a este transporte do produto são consideradas. Normalmente, o transporte do produto final até ao centro de retalho não é feito pela empresa de vinho, mas sim por empresas externas. Posto isto, existe uma grande complexidade em obter informações acerca do consumo de combustíveis. Para efeitos desta ferramenta são tidos em conta o transporte de mercadorias a partir do rodoviário, ferroviário marítimo e aéreo.

Para calcular as emissões de CO<sub>2</sub> eq. é tido em conta a massa de produto transportada ( $M_{\text{transportada}}$ ), o tipo de meio de transporte, o fator de emissão para os respetivos meios de transporte e, como estamos a falar da distribuição e transporte de mercadorias, neste caso, a massa das caixas de vinho também são contabilizadas. [47]

As emissões de CO<sub>2</sub> eq. resultantes da distribuição das garrafas de vidro do armazém até retalho utilizando os meios de transporte utilizado são calculados tendo por base a seguinte equação:

$$Emissões\ (kg\ de\ CO_2\ eq.) = \Sigma(M_{transportada}\ (t) \times Distância(km) \times FE(kg\ de\ CO_2\ eq./t*km)) \tag{32}$$

Os fatores de emissão considerados para cada meio de transporte estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13: Fator de emissão, para cada via de transporte.

| Meio de transporte                | Fator de emissão<br>(kg CO <sub>2</sub> eq./t*km) | Fonte |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------|-------|
| Transporte rodoviário<br>(camião) | 0,157                                             | [49]  |
| Comboio de carga                  | 0,048                                             |       |
| Avião de carga                    | 0,851                                             |       |
| Transporte marítimo               | 0,010                                             |       |

## 4. Resultados

O presente capítulo apresenta a ferramenta de cálculo da PC desenvolvida no âmbito deste projeto de estágio. Os valores apresentados são meramente ilustrativos e destinam-se exclusivamente à demonstração do funcionamento da ferramenta desenvolvida, não correspondendo a resultados obtidos em casos de estudo reais. Esta ferramenta foi desenvolvida em Excel e é composta por 11 folhas, organizadas a partir das principais etapas do ciclo de vida do vinho consideradas neste projeto. Assim, estão incluídas as etapas da viticultura, da vinificação e engarrafamento, e da distribuição.

De seguida, descrevem-se o conteúdo, a estrutura e o modo de funcionamento de cada folha e os aspetos considerados mais importantes para a compreensão da ferramenta.

### 4.1. Folha 1: Apresentação da ferramenta

A primeira folha “Início” apresentada no Excel, é constituída por uma breve introdução sobre a ferramenta, um índice interativo e uma legenda. (Figura 3)

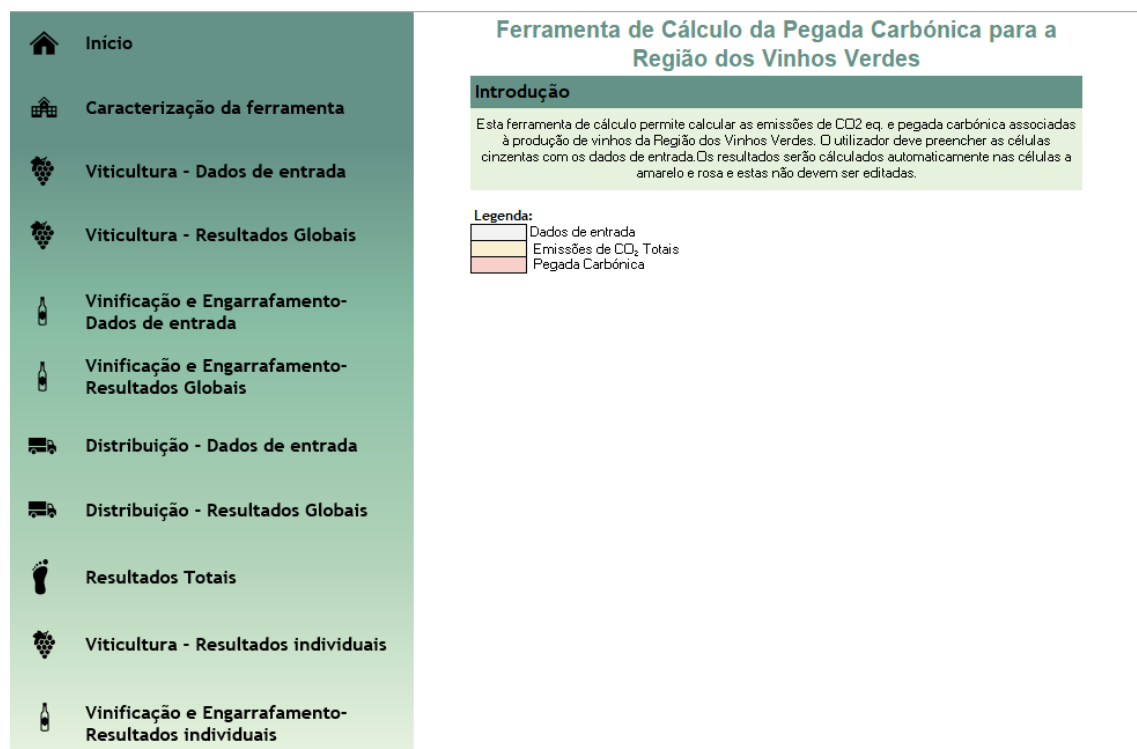


Figura 3: Folha de "Início" da ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

Esta folha inicial tem como intuito contextualizar e apresentar a ferramenta ao utilizador, de forma a fazer um enquadramento sobre o seu funcionamento e funcionalidade. A introdução, explica de forma sucinta em que consiste ferramenta. No índice interativo, é

apresentado o nome de cada folha que compõe a ferramenta, cada item do índice contém uma hiperligação que permite ao utilizador ir diretamente à folha pretendida. Esta funcionalidade facilita e torna a experiência do utilizador mais intuitiva, fácil e rápida. Nas restantes folhas da ferramenta também existe uma hiperligação que permite ao utilizador regressar à folha inicial.

Esta folha inclui ainda, como referido anteriormente uma legenda. Esta permite ao utilizador identificar de forma mais perceptível quais as células onde devem ser introduzidos os dados pedidos (célula sombreada a cinzento), onde estão indicados os resultados globais das emissões de CO<sub>2</sub> eq. (célula sombreada a amarelo) e as células onde são apresentados os resultados da PC (célula sombreada a rosa).

## 4.2. Folha 2: Caracterização da Quinta

A folha 2 é dedicada à caracterização da quinta, nesta o utilizador deve indicar o nome da quinta e a área que esta ocupa. Adicionalmente, devem ser introduzidos os dados relativos à quantidade de uvas produzidas na quinta e o respetivo volume de vinho obtido a partir dos respetivos kg de uvas. Com base nestes dados, a ferramenta calcula o número de garrafas de 0,75L necessárias para engarrafar o vinho produzido de forma automática.

No caso de ter havido por parte da quinta compra de uvas ou mosto, para complementar a sua produção, as respetivas quantidades devem ser indicadas nas células correspondentes.

Após a introdução destes valores, são calculadas automaticamente as quantidades totais de uvas, vinho e garrafas utilizadas. Estes valores totais serão posteriormente utilizados no cálculo da PC para as etapas, vinificação, engarrafamento e distribuição. Na etapa da viticultura, o cálculo da PC considerada exclusivamente a quantidade de uvas produzidas na quinta.

Caracterização da Quinta

Início

Nome da Quinta

Área da quinta (h)

| Origem dos produtos                | Quantidade de uvas produzidas/compradas num ano (kg) | Volume de vinho produzido/comprado num ano a partir dos kg de uvas obtidos (L) | Número de garrafas de vinho de 0,75L utilizadas |
|------------------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Produção na Quinta                 |                                                      |                                                                                |                                                 |
| Adquiridos a fornecedores externos |                                                      |                                                                                |                                                 |
| Total                              |                                                      |                                                                                |                                                 |

Figura 4: Folha de “caracterização da quinta” da ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

### 4.3. Folha 3: Cálculo das emissões provenientes da viticultura

Na folha de Excel “Viticultura- Dados de Entrada” são calculadas as emissões de CO<sub>2</sub> eq. que resultam da etapa da viticultura. Para esse efeito, esta folha inclui os parâmetros que contribuem para as emissões de GEE nesta etapa, nomeadamente: alteração do uso do solo, produtos fitofarmacêuticos (pesticidas), fertilizantes, calagem do solo, energia, consumo de gás de garrafa, consumo de combustíveis em equipamentos móveis, resíduos gerais, águas residuais, embalagens de produtos fitofarmacêuticos e, por último, transporte das uvas da vinha para a adega.

O cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. é realizado inicialmente de forma individual e automática para cada um dos parâmetros mencionado anteriormente. Para a realização deste cálculo o utilizador para cada um dos *inputs* e *outputs* deve preencher apenas as células destacadas a cinzento com a informação solicitada que está indicada na célula acima. Por exemplo, no caso da alteração do uso do solo, a ferramenta solicita ao utilizador que introduza a área correspondente a alterações que tenham ocorrido nos últimos 20 anos no solo de prado para terra de cultivo, bem como de floresta para terra de cultivo. Com base nestes dados, a ferramenta calcula automaticamente, através da fórmula previamente inserida, as emissões de CO<sub>2</sub> eq. associadas a estas alterações. (Figura 5)

| Viticultura - Dados de entrada |                                                             |                        |                 | Início                                               |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|
| Alteração do uso do solo       | Área replantada e/ou reestruturada nos últimos 20 anos      |                        |                 |                                                      |
|                                | Uso inicial do solo                                         | Uso do solo convertido | Área (hectares) | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|                                | Prado                                                       | Terra de cultivo       |                 | 0                                                    |
|                                | Floresta                                                    | Terra de cultivo       |                 | 0                                                    |
|                                | Emissões de CO <sub>2</sub> Totais (kg CO <sub>2</sub> eq.) |                        |                 | 0                                                    |

Figura 5: Cálculo das emissões associadas à alteração do uso do solo na ferramenta de cálculo da pegada carbônica

Em alguns parâmetros, é necessário que o utilizador preencha mais do que uma célula, isto é, forneça mais do que uma informação. É o caso do cálculo das emissões dos *inputs* produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes, por exemplo, em que o utilizador deve indicar a massa de produtos aplicado e a respetiva percentagem de substância ativa (Figura 6).

| Produtos fitofarmacêuticos (Pesticidas) | Aplicação anual de produtos fitofarmacêuticos               |            |                     |                                                      |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|---------------------|------------------------------------------------------|
|                                         | Pesticidas                                                  | Massa (kg) | Substância ativa(%) | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|                                         | Herbicidas                                                  |            |                     | 0                                                    |
|                                         | Fungicidas                                                  |            |                     | 0                                                    |
|                                         | Inseticidas                                                 |            |                     | 0                                                    |
|                                         | Emissões de CO <sub>2</sub> Totais (kg CO <sub>2</sub> eq.) |            |                     | 0                                                    |

| Fertilizantes | Aplicação anual de fertilizantes                            |            |                     |                                                      |
|---------------|-------------------------------------------------------------|------------|---------------------|------------------------------------------------------|
|               | Fertilizantes                                               | Massa (kg) | Substância ativa(%) | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|               | Solução azotada (%N)                                        |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes ternários (%N)                                |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes ternários (%P)                                |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes ternários (%K)                                |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes binários (%N)                                 |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes binários (%P)                                 |            |                     | 0                                                    |
|               | Fertilizantes binários (%K)                                 |            |                     | 0                                                    |
|               | Estrume                                                     |            |                     | 0                                                    |
|               | Composto                                                    |            |                     | 0                                                    |
|               | Emissões de CO <sub>2</sub> Totais (kg CO <sub>2</sub> eq.) |            |                     | 0                                                    |

Figura 6: Cálculo das emissões associadas a produtos fitofarmacêuticos e fertilizantes na ferramenta de cálculo da pegada carbônica.

Por fim, nesta folha, é apresentada as emissões totais de CO<sub>2</sub> eq. da viticultura. Este cálculo é realizado automaticamente, através da soma dos resultados obtidos para as emissões totais de cada um dos *inputs* e *outputs* considerados. (Figura 7).

|                                                                            |  |
|----------------------------------------------------------------------------|--|
| Emissões de CO <sub>2</sub> Totais na Viticultura (kg CO <sub>2</sub> eq.) |  |
|----------------------------------------------------------------------------|--|

Figura 7: Cálculo das emissões totais associadas à etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbônica

#### 4.4. Folha 4: Resultados globais da viticultura

Esta ferramenta disponibiliza outra folha de Excel associada à viticultura, onde são apresentados os resultados globais desta etapa. (Figura 8)

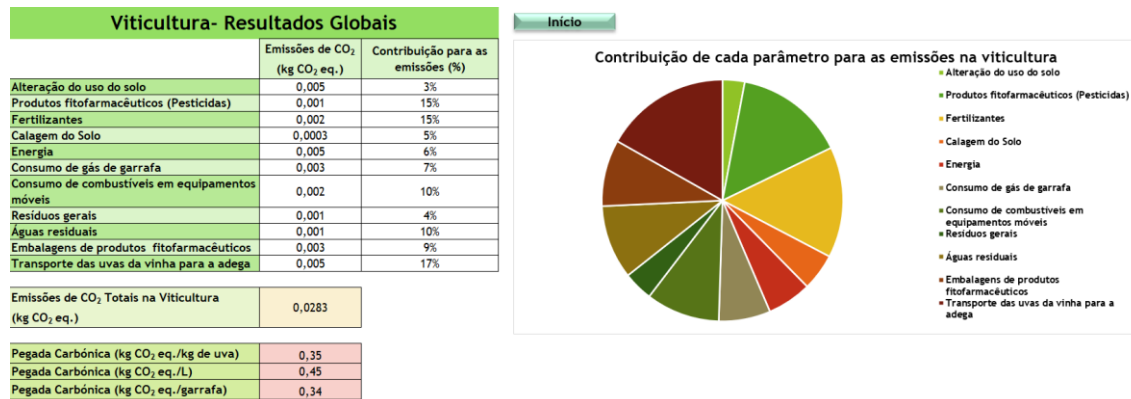


Figura 8: Folha dos resultados globais para a etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

Nesta folha, os resultados são gerados automaticamente, não sendo necessária a introdução de dados por parte do utilizador.

São apresentados na segunda coluna, de forma mais compactada, os valores previamente calculados na folha anterior (Folha 3) relativos às emissões totais de CO<sub>2</sub> eq. para cada um dos parâmetros desta etapa.

Para além destes resultados, nesta folha é calculada a percentagem de contribuição de cada parâmetro para as emissões totais da viticultura, como ilustrado na Figura 8.

Este tipo de análise dos dados é particularmente importante para os produtores, uma vez que, permite identificar quais os parâmetros que mais contribuem para as emissões nesta etapa. Essa informação é crucial para definir os *hotspots*, prioritários de intervenção para implementar medidas de mitigação de forma a reduzir as emissões nesta etapa e, consequentemente, na globalidade da PC do vinho.

As percentagens de contribuição obtidas permitem ainda gerar um gráfico circular (Figura 8), no qual é possível constatar, de forma intuitiva, a contribuição que cada parâmetro tem para as emissões totais da etapa da viticultura.

Por fim, é apresentada a PC da viticultura em três unidades distintas, nomeadamente, kg CO<sub>2</sub> eq./kg de uva, em kg CO<sub>2</sub> eq./L e kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa de vinho. Este indicador é calculado através dos valores presentes na folha 2 relativos à quantidade de uvas

produzidas no ano em análise, volume de vinho produzido, número de garrafas e pelas emissões de CO<sub>2</sub>eq. totais obtidos para a viticultura.

#### 4.5. Folha 5: Vinificação e engarrafamento

Na folha 5 do Excel é possível calcular as etapas da vinificação e engarrafamento. Os parâmetros considerados na vinificação incluem: a compra de vinho no exterior, os produtos enológicos, o uso de gases inertes nas cubas, os produtos de lavagem das cubas, a recarga do sistema de refrigeração, as fontes estacionárias e o transporte do vinho da adega para o armazém.

Para todos estes parâmetros mencionados anteriormente, o utilizador deve indicar apenas as quantidades dos produtos utilizados, nas células destacadas e nas unidades pedidas, com a exceção do transporte do vinho da adega para o armazém, como é possível observar na Figura 9.

| Transporte do vinho da adega para o armazém | Meios de transporte utilizados distância percorrida, massa transportada e número de deslocações |                                       |                        |                                     |                                                      |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                             | Meio de transporte                                                                              | Distância porta da adega-armazém (km) | Massa transportada (t) | Número de deslocações adega-armazém | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|                                             | Trator                                                                                          |                                       |                        |                                     | 0                                                    |
|                                             | Camião                                                                                          |                                       |                        |                                     | 0                                                    |
|                                             | Emissões Totais de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.)                                     |                                       |                        |                                     | 0                                                    |

Figura 9: Cálculo das emissões associadas ao transporte do vinho da adega para o armazém na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

Neste caso, é necessário o utilizador introduzir os dados referentes à distância da porta da adega até ao armazém onde ocorre o engarrafamento, as toneladas de vinho transportadas e o número de deslocações realizadas. Este transporte pode ser feito por dois tipos de meio de transporte distinto (trator ou camião), aplicando-se a cada um o respetivo fator de emissão. No caso de serem utilizados os dois meios de transporte, a ferramenta faz a soma de forma automática das emissões totais correspondentes. Importa salientar que, este parâmetro só se aplica nos casos em que o vinho for engarrafado num local distinto de onde ocorre a etapa da vinificação.

Para o engarrafamento os materiais de engarrafamento, são calculados tendo em conta a quantidade dos diversos materiais utilizados que devem ser indicadas pelo utilizador na respetiva célula. (Figura 10)

| Engarrafamento - Dados de entrada |                                                             |            |                                                      |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------------------------|
| Materiais de engarrafamento       | Quantidade de materiais de engarrafamento                   |            |                                                      |
|                                   | Materiais de engarrafamento                                 | Quantidade | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|                                   | Garrafa de vidro (n°)                                       |            | 0                                                    |
|                                   | Garrafa PET (n°)                                            |            | 0                                                    |
|                                   | Bag in box (n°)                                             |            | 0                                                    |
|                                   | Latas Tetra Pak (n°)                                        |            | 0                                                    |
|                                   | Cápsula de 35% alumínio/LDPE (kg)                           |            | 0                                                    |
|                                   | Cápsula de estanho (kg)                                     |            | 0                                                    |
|                                   | Rolha de cortiça natural (kg)                               |            | 0                                                    |
|                                   | Rolha de cortiça natural com cápsula de PVC (kg)            |            | 0                                                    |
|                                   | Rolha de cortiça natural aglomerada com cápsula de PVC (kg) |            | 0                                                    |
|                                   | Muselet(kg)                                                 |            | 0                                                    |
|                                   | Rótulo de papel(kg)                                         |            | 0                                                    |
|                                   | Rótulos de polipropileno e polietileno (kg)                 |            | 0                                                    |
|                                   | Cola (amido)(kg)                                            |            | 0                                                    |
|                                   | Cartão canelado(kg)                                         |            | 0                                                    |
|                                   | Emissões Totais de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |            | 0                                                    |

Figura 10: Cálculo das emissões associadas a materiais de engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

As etapas da vinificação e engarrafamento estão juntas na mesma folha de Excel, porque os parâmetros como consumo de água tratada, energia, resíduos gerais e águas residuais são transversais aos dois processos. Esta abordagem justifica-se porque, muitas vezes, nas quintas estas etapas ocorrem no mesmo armazém. No caso disso não acontecer, os espaços que são pedidos ao utilizador para preencher, devem ser relativos à soma dos consumos correspondentes às duas etapas. Por exemplo, no caso das águas residuais, o utilizador deve introduzir na ferramenta o volume de efluente líquido e a carência química de oxigénio totais, desta forma vai obter as emissões de CO<sub>2</sub> geradas pelo tratamento do efluente gerado nas atividades da vinificação e engarrafamento. (Figura 11)

| Vinificação e Engarrafamento - Dados de entrada |                                  |                          |                                                      |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|
| Consumo de água tratada                         | Volume de água tratada utilizada |                          |                                                      |
|                                                 | Produto                          | Volume (m <sup>3</sup> ) | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |
|                                                 | Água tratada                     |                          | 0                                                    |

Início

Figura 11: Cálculo das emissões associadas ao consumo de água tratada na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

#### 4.6. Folha 6: Resultados globais da vinificação e engarrafamento

A estrutura e os dados apresentados na folha 6, relativos aos resultados globais da vinificação e engarrafamento, são bastante semelhantes aos apresentados na folha 4. (Figura 12)

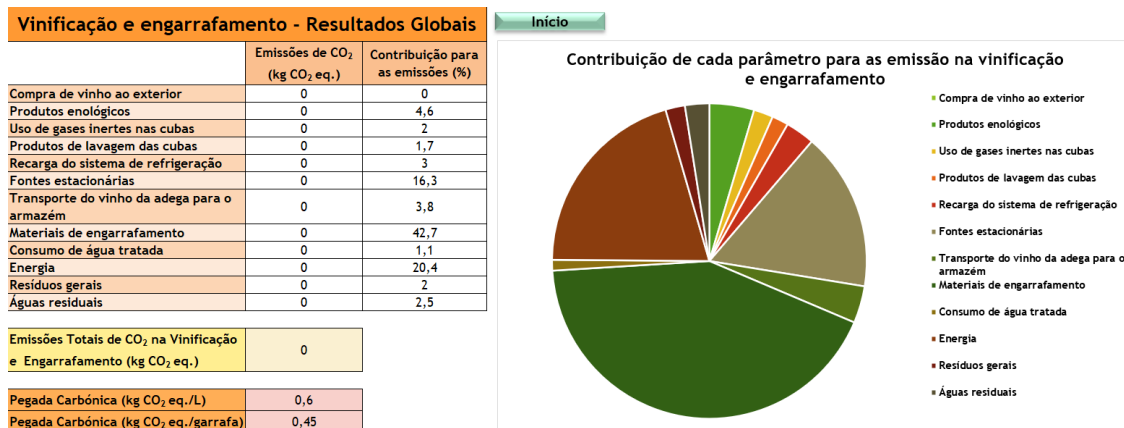


Figura 12: Folha dos resultados globais para a etapa da vinificação e engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica

Desta forma, são apresentados os resultados globais das emissões de CO<sub>2</sub> eq. e PC em duas UF distintas kg CO<sub>2</sub> eq./L e kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa associados à etapa da vinificação e engarrafamento.

Adicionalmente, como é possível verificar na Figura 11 é apresentado um gráfico circular com a percentagem de contribuição que cada *input* e *output* tem para as emissões totais na vinificação e engarrafamento. Este gráfico é gerado através das percentagens calculadas na coluna 3, estes dados permitem identificar quais são os *hotspots* de emissão nesta etapa e nos quais a implementação de medidas de mitigação deve ser considerada prioritária tendo em vista a redução das emissões.

#### 4.7. Folha 7: Distribuição

As emissões de CO<sub>2</sub> eq. provenientes da última etapa da cadeia de valor, correspondente à distribuição são apresentadas na folha 7. Nesta folha devem ser introduzidos exclusivamente os dados referentes à distribuição do produto final, desde o local de produção até ao centro de retalho, excluindo, portanto, todas as atividades de transporte relacionadas com as etapas de viticultura e vinificação, uma vez que estas já foram contabilizadas nas folhas anterior.

Os meios de transporte considerados para efetuar esta distribuição são o camião, o comboio, o avião e o transporte marítimo em navios porta-contentores. Para cada meio de transporte utilizado, o utilizador deve preencher as células destacadas a cinzento com a massa transportada e a distância percorrida durante o percurso efetuado. (Figura 13)

| Distribuição - Dados de entrada                                            |                                                                                           |                        |                |                                                      | Início |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------|------------------------------------------------------|--------|
| Distribuição                                                               | Meios de transporte utilizados na distribuição, massa transportada e distância percorrida |                        |                |                                                      |        |
|                                                                            | Meio de transporte                                                                        | Massa transportada (t) | Distância (km) | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) |        |
|                                                                            | Camião                                                                                    |                        |                | 0                                                    |        |
|                                                                            | Comboio                                                                                   |                        |                | 0                                                    |        |
|                                                                            | Avião                                                                                     |                        |                | 0                                                    |        |
|                                                                            | Marítima, navio porta contentores                                                         |                        |                | 0                                                    |        |
| Emissões Totais de CO <sub>2</sub> na Distribuição(kg CO <sub>2</sub> eq.) |                                                                                           |                        |                |                                                      | 0      |

Figura 13: Folha dos dados de entrada para a etapa da distribuição na ferramenta de cálculo da pegada carbónica

Apenas devem ser introduzidos dados para os meios de transporte efetivamente utilizadas durante este processo, devendo as restantes células não ser preenchidas.

Após a introdução destas informações, a ferramenta calcula automaticamente as emissões de CO<sub>2</sub> eq. para cada um dos meios de transporte. Posteriormente, são somadas as emissões de CO<sub>2</sub> obtidas para cada um dos meios de transporte e são determinadas as emissões totais para a etapa da distribuição.

#### 4.8. Folha 8: Resultados globais da distribuição

Na etapa da distribuição existe apenas, um único parâmetro, que é a distribuição ainda que repartida por diferentes meios de transporte. Esta folha de resultados globais permite ao utilizador, no caso de ser utilizado mais que um meio de transporte, ter informações sobre qual deles contribui de forma mais acentuada para as emissões globais desta etapa, sendo que os meios de transporte possíveis são o camião, comboio, avião e transporte marítimo. Este resultado é dado de forma automática, sem necessidade de nenhuma introdução de dados por parte do utilizador. (Figura 14)

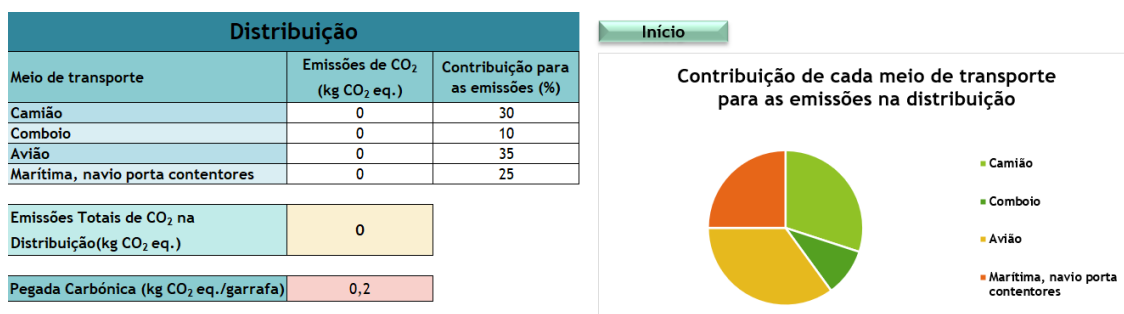


Figura 14: Folha dos resultados globais para a etapa da distribuição na ferramenta de cálculo da pegada carbónica

Para além disso, com estes dados das percentagens de contribuição referentes a cada meio de transporte, é ainda apresentado um gráfico circular, à semelhança do que

acontece para a viticultura, o que permite ao utilizador ter uma forma mais clara de visualizar estes dados.

Por fim, com base nas emissões totais calculadas para esta etapa e no número de garrafas indicados na Folha 2, é calculado de forma automática a PC para esta etapa expressa em kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa.

A inclusão desta folha reforça a utilidade e importância desta ferramenta no apoio à tomada de decisão, tendo em vista a identificação de oportunidades de redução das emissões de GEE ao longo da cadeia de distribuição.

#### 4.9. Folha 9: Resultados totais

A folha dos resultados totais corresponde à folha 9 da ferramenta e reúne os principais resultados obtidos nas folhas anteriores para as etapas da viticultura, vinificação, engarrafamento e distribuição. (Figura 15)

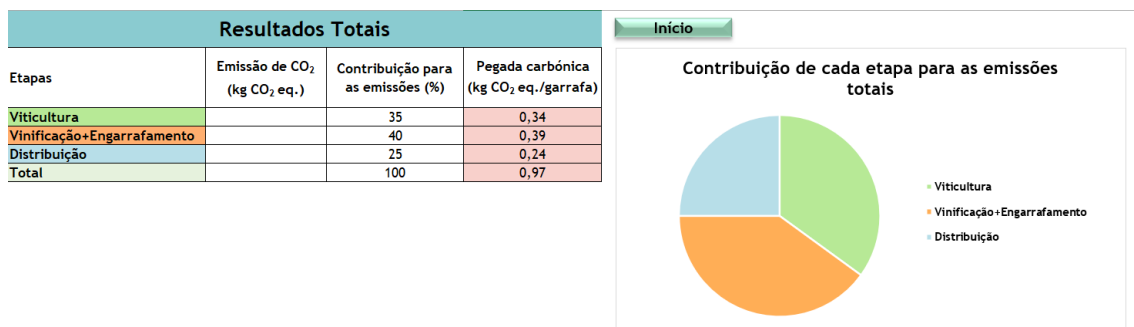


Figura 15: Folha dos resultados totais na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

À semelhança do que ocorre nas folhas relativas aos resultados globais, não é necessário o utilizador introduzir quaisquer dados.

Nesta folha, são apresentadas as emissões de CO<sub>2</sub> eq. totais para as etapas viticultura, vinificação e engarrafamento e distribuição, já calculadas previamente. Com esta informação, é calculada a percentagem de contribuição que cada etapa tem para as emissões totais da produção do vinho. Através desta informação, é possível ao utilizador identificar quais as etapas (viticultura, vinificação e engarrafamento e distribuição) que mais contribuem para a PC total de produção vinho.

Por último, é apresentado o valor da PC total para a produção do vinho, que corresponde à soma de todas as PC obtidas nas etapas, sendo que esta é expressa em de kg CO<sub>2</sub> eq./garrafa.

#### 4.10. Folha 10: Resultados individuais viticultura

Esta ferramenta disponibiliza ainda uma folha de Excel (Folha 10) na qual são apresentados ao utilizador, novamente, as emissões CO<sub>2</sub> eq. associadas a cada *input* e *output*. Para além disso, esta calcula automaticamente a contribuição (%) de cada componente para o total de emissões do respetivo *input* ou *output*. Por exemplo, dentro do *input* produtos fitofarmacêuticos estão incluídos diferentes componentes: herbicidas, fungicidas e inseticidas. Através da divisão das emissões associadas ao produto (herbicida, por exemplo) pelas emissões de CO<sub>2</sub> totais do *input* e a subsequente multiplicação por 100 de forma a converter o resultado em percentagem, é possível ao utilizador perceber, qual o produto que está a influenciar mais as emissões gerais do *input*. Esta representação é ilustrada na Figura 16.

| Viticultura - Resultados individuais    |                                                             |                                                      |                                   |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Parâmetro                               | Produto                                                     | Emissões de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) | Contribuição para as emissões (%) |
| Produtos fitofarmacêuticos (Pesticidas) | Herbicidas                                                  | 0                                                    | 20                                |
|                                         | Fungicidas                                                  | 0                                                    | 65                                |
|                                         | Inseticidas                                                 | 0                                                    | 15                                |
|                                         | Emissões de CO <sub>2</sub> Totais (kg CO <sub>2</sub> eq.) | 0                                                    |                                   |

Início

Figura 16: Folha dos resultados individuais para a etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbônica

Para os *inputs* ou *outputs* que têm apenas um produto, como é possível verificar na Figura 17, por exemplo, na calagem do solo, onde o único produto que é considerado é o carbonato de cálcio e magnésio, não é possível fazer este cálculo. Deste modo, na coluna de percentagem de contribuição, não se encontra nenhum valor preenchido.

|                 |                                |   |   |
|-----------------|--------------------------------|---|---|
| Calagem do solo | Carbonato de cálcio e magnésio | 0 | - |
|-----------------|--------------------------------|---|---|

Figura 17: Cálculo da calagem de solo na folha de resultados individuais na etapa da viticultura na ferramenta de cálculo da pegada carbônica

#### 4.11. Folha 11: Resultados individuais vinificação e engarrafamento

A folha “Resultados individuais vinificação e engarrafamento”, à semelhança da anterior, permite calcular de forma automática as contribuições de cada produto para as emissões totais do respetivo *input*. Com base nesta informação, o utilizador percebe dentro de cada parâmetro qual é o produto que influencia mais as emissões totais do *input*. Esta análise facilita a identificação de potenciais medidas de mitigação, como por exemplo no caso dos produtos de lavagem tentar optar pelos produtos que geram

menos emissões em detrimento, daqueles que apresentam um desempenho ambiental menos favorável. (Figura 18)

| Vinificação e engarrafamento - Resultados individuais |                               |                                                             |                                                         |                                      | Início |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------|
| Etapa                                                 | Parâmetros                    | Produtos                                                    | Emissões de CO <sub>2</sub><br>(kg CO <sub>2</sub> eq.) | Contribuição para as<br>emissões (%) |        |
| Vinificação                                           | Produtos de lavagem das cubas | Água oxigenada (50%)                                        | 0                                                       | 12                                   |        |
|                                                       |                               | Ácido sulfúrico                                             | 0                                                       | 8                                    |        |
|                                                       |                               | Soda cáustica(hidróxido de sódio) líquida a 50%             | 0                                                       | 28                                   |        |
|                                                       |                               | Hidróxido de sódio(sólido)                                  | 0                                                       | 10                                   |        |
|                                                       |                               | Hipoclorito de sódio 15%                                    | 0                                                       | 14                                   |        |
|                                                       |                               | Ácido fosfórico                                             | 0                                                       | 9                                    |        |
|                                                       |                               | Ácido nítrico (50%)                                         | 0                                                       | 11                                   |        |
|                                                       |                               | Sulfato de sódio                                            | 0                                                       | 3                                    |        |
|                                                       |                               | Produtos anti-espuma                                        | 0                                                       | 5                                    |        |
|                                                       |                               | Emissões Totais de CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq.) | 0                                                       |                                      |        |

Figura 18: Folha dos resultados individuais para a etapa da vinificação e engarrafamento na ferramenta de cálculo da pegada carbónica.

## 5. Conclusão

Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta de cálculo aplicada à RVV que permitisse calcular de forma pedagógica as emissões associadas à produção de vinho nas etapas da vinificação, viticultura, engarrafamento e distribuição.

Através dos resultados obtidos, é possível constatar que a ferramenta desenvolvida constitui um instrumento útil para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub> eq. da produção vitivinícola, permitindo ao utilizador identificar os principais *hotspots* de emissão. Para além disso, quais as etapas do processo que mais contribuem para a PC total e consequentemente com maior potencial de melhoria. A sua aplicação permite apoiar os produtores na tomada de decisões tendo em vista a mitigação das emissões de forma mais informadas e conscientes, incentivando a adoção de práticas que contribuam para a redução das emissões de GEE e para o aumento da sustentabilidade do setor.

Apesar das potencialidades desta ferramenta, importa reconhecer algumas limitações, como, por exemplo, a necessidade constante de atualização dos fatores de emissão para os diversos parâmetros incluídos nesta ferramenta.

Como perspetivas de trabalho futuro, estes podem incidir na inclusão de novos parâmetros caso isso se demonstre necessário e efetuar um ensaio de validação da ferramenta criada com o cálculo da PC através de um caso de estudo real, numa quinta em produção, situada na RVV.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] J. B. Duarte, P. Brinca, and M. J. Gonçalves, “SETOR DO VINHO AVALIAÇÃO DE IMPACTO SOCIOECONÓMICO EM PORTUGAL.”
- [2] L. Pinto da Silva and J. C. G. Esteves da Silva, “Evaluation of the carbon footprint of the life cycle of wine production: A review,” *Cleaner and Circular Bioeconomy*, vol. 2, p. 100021, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.CLCB.2022.100021.
- [3] “Aprovada Lei Europeia do Clima - PT2020.” Accessed: Jun. 28, 2026. [Online]. Available: <https://portugal2020.pt/aprovada-lei-europeia-do-clima/>
- [4] “CVRVV - Vinhos Verdes.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.vinhoverde.pt/pt/a-instituicao/comissao-de-viticultura-da-regiao-dos-vinhos-verdes/>
- [5] “Agenda de Investigação Desenvolvimento e Inovação dos Vinhos Verdes,” 2025.
- [6] “CVRVV - Vinhos Verdes.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.vinhoverde.pt/pt/a-instituicao/missao/>
- [7] “REGIÕES VITIVINÍCOLAS PORTUGAL .”
- [8] “Adega Cooperativa de Barcelos - A região dos vinhos verde.” Accessed: Jul. 02, 2026. [Online]. Available: <https://adegabarcelos.pt/pt/a-regiao-dos-vinhos-verde.html>
- [9] “CVRVV - Vinhos Verdes.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.vinhoverde.pt/pt/a-instituicao/evag-centro-de-estudos-da-regiao-dos-vinhos-verdes/>
- [10] “CVRVV - Vinhos Verdes.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://portal.vinhoverde.pt/pt/quem-somos/sustentabilidade-i-d-e-inovacao/>
- [11] OIV, “World Wine Production Outlook 2025,” Nov. 2025.
- [12] OIV, “State of the World Wine Sector in 2025,” May 2025.
- [13] S. Bosco, C. di Bene, M. Galli, D. Remorini, R. Massai, and E. Bonari, “Greenhouse Gas Emissions in the Agricultural Phase of Wine Production in the Maremma Rural District in Tuscany, Italy,” *Italian Journal of Agronomy*, vol. 6, no. 2, p. e15, Jan. 2011, doi: 10.4081/IJA.2011.E15.

- [14] Y. Y. Sun and D. Drakeman, "Measuring the carbon footprint of wine tourism and cellar door sales," *J. Clean. Prod.*, vol. 266, p. 121937, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.121937.
- [15] "International Wine Greenhouse Gas Protocol. Version 2.0," Feb. 2016.
- [16] A. Saraiva, J. Portugal Pereira, J. P. De Melo Abreu, and M. Oliveira, "Strategies for wine environmental impact reduction. A multi-year-based life cycle assessment of a Mediterranean case study," *Cleaner Environmental Systems*, vol. 22, p. 100459, Sep. 2026, doi: 10.1016/J.CESYS.2026.100459.
- [17] B. Rugani, I. Vázquez-Rowe, G. Benedetto, and E. Benetto, "A comprehensive review of carbon footprint analysis as an extended environmental indicator in the wine sector," *J. Clean. Prod.*, vol. 54, pp. 61–77, Sep. 2013, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2013.04.036.
- [18] D. D'Ammaro, E. Capri, F. Valentino, S. Grillo, E. Fiorini, and L. Lamastra, "Benchmarking of carbon footprint data from the Italian wine sector: A comprehensive and extended analysis," *Science of The Total Environment*, vol. 779, p. 146416, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.146416.
- [19] "CVRVV - Vinhos Verdes." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.vinhoverde.pt/pt/a-vinha/implantacao/preparacao-do-terreno/>
- [20] "CVRVV - Vinhos Verdes." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.vinhoverde.pt/pt/a-vinha/vindima/praticas-pre-vindima/>
- [21] "Vinificação e o Processo de Produção do Vinho – LMH-Wines." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://lmh-wines.pt/vinificacao-e-o-processo-de-producao-do-vinho/>
- [22] "O PROCESSO DE VINIFICAÇÃO | Garrafeira Venceslau - para os amantes do vinho." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.garrafeiravenceslau.pt/noticias/o-processo-de-vinificacao>
- [23] "PRODUÇÃO DE VINHOS COMUNS E LICOROSO," 2018.
- [24] "Clarificação do vinho | Winelicious." Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://winelicious.pt/clarificacao-do-vinho/>
- [25] B. Neto, A. C. Dias, and M. Machado, "Life cycle assessment of the supply chain of a Portuguese wine: From viticulture to distribution," *International Journal of Life*

- Cycle Assessment*, vol. 18, no. 3, pp. 590–602, Mar. 2013, doi: 10.1007/S11367-012-0518-4.
- [26] H. J. Ponstein, A. Meyer-Aurich, and A. Prochnow, “Greenhouse gas emissions and mitigation options for German wine production,” *J. Clean. Prod.*, vol. 212, pp. 800–809, Mar. 2019, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.206.
- [27] E. Bonamente, F. Scrucca, S. Rinaldi, M. C. Merico, F. Asdrubali, and L. Lamastra, “Environmental impact of an Italian wine bottle: Carbon and water footprint assessment,” *Science of The Total Environment*, vol. 560–561, pp. 274–283, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.04.026.
- [28] M. du Plessis, P. Miklautsch-Breznik, J. van Eeden, L. Louw, H. Zsifkovits, and M. Woschank, “The carbon footprint of downstream wine logistics: A case study of exports from South Africa to Germany,” *Research in Transportation Business & Management*, vol. 67, p. 101680, Jun. 2026, doi: 10.1016/J.RTBM.2026.101680.
- [29] “Carbon Calculator - The Australian Wine Research Institute.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: [https://www.awri.com.au/industry\\_support/sustainable-winegrowing-australia/carbon-calculator/](https://www.awri.com.au/industry_support/sustainable-winegrowing-australia/carbon-calculator/)
- [30] “Pegada Carbónica - Portal do Conhecimento Digital, IVDP.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://digital.ivdp.pt/douro-sustentavel/pegada-carbonica/>
- [31] “European Climate Law - Climate Action - European Commission.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en)
- [32] “Lei Europeia em matéria de clima | EUR-Lex.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/PT/legal-content/summary/european-climate-law.html>
- [33] “L\_202600667PT.000101.fmx.xml.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L\\_202600667#pbl\\_1](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202600667#pbl_1)
- [34] “Emissões de gases com efeito de estufa por país e setor (Infografia) | Temas | Parlamento Europeu.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20180301STO98928/emissoes-de-gases-com-efeito-de-estufa-por-pais-e-setor-infografia>

- [35] “Emissões de gases com efeito de estufa | Relatório do Estado do Ambiente.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/emiss%C3%B5es-de-gases-com-efeito-de-estufa>
- [36] “L\_202401781PT.000101.fmx.xml.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L\\_202401781#cpt\\_l](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401781#cpt_l)
- [37] “EU’s Digital Product Passport: Advancing transparency and sustainability | data.europa.eu.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/en/news-events/news/eus-digital-product-passport-advancing-transparency-and-sustainability>
- [38] J. Simões, C. Neves, T. Oliveira, H. Azadi, and I. Goli, “Toward circular economy: Investigating citizens’ willingness to use digital product passports,” *Green Technologies and Sustainability*, vol. 4, no. 3, p. 100393, Jul. 2026, doi: 10.1016/J.GRETS.2026.100393.
- [39] “Sobre o Passaporte Digital de Produto - Portal PDP.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://pddp.pt/sobre-o-passaporte-digital-de-produto/>
- [40] OIV, “METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR ACCOUNTING FOR GHG BALANCE IN THE VITIVINICULTURAL SECTOR,” 2017.
- [41] J. Masbou, P. Höhener, S. Payraudeau, F. Martin-Laurent, and G. Imfeld, “Stable isotope composition of pesticides in commercial formulations: The ISOTOPEST database,” *Chemosphere*, vol. 352, p. 141488, Mar. 2024, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2024.141488.
- [42] “EcoFootPrint Fio Dourado: Estudo para cálculo da pegada de carbono do Azeite Virgem Extra Quinta do Juncal.” Nov. 2016.
- [43] V. Pinheiro, “Avaliação da Pegada Carbónica na Produção de Mirtilos,” Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 2024.
- [44] “CÓDIGO DE BOAS PRÁTICAS AGRÍCOLAS. PARA A PROTECÇÃO DA ÁGUA CONTRA A POLUIÇÃO COM NITRATOS DE ORIGEM AGRÍCOLA.” Nov. 1997.
- [45] E. Walling and C. Vaneeckhaute, “Greenhouse gas emissions from inorganic and organic fertilizer production and use: A review of emission factors and their

- variability,” *J. Environ. Manage.*, vol. 276, p. 111211, Dec. 2020, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2020.111211.
- [46] “IPCC Global Warming Potential Values Version No. 2.o,” Aug. 2024.
- [47] “International Wine Carbon Calculator Protocol Version 1.2,” Jul. 2008.
- [48] J. C. Cano-Franco, H. F. Hernández-García, and M. L. Álvarez-Láinez, “Fast-dissolving calcium carbonate particles as a high-performance lime for amelioration of agricultural acidic soils,” *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 12, no. 3, p. 112607, Jun. 2024, doi: 10.1016/J.JECE.2024.112607.
- [49] “Home | ecoQuery,” LCIA Method: ReCiPe 2016 v1.03. Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.10.1/cutoff>
- [50] “Eletricidade: quem domina o mercado liberalizado em Portugal?” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.forbespt.com/eletricidade-quem-domina-o-mercado-liberalizado-em-portugal/>
- [51] “Origem da Energia - Particulares | EDP.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://www.edp.pt/origem-energia/?sector=17028&year=2025&trimester=3>
- [52] “Eletricidade e gás natural da Galp.” Accessed: Jul. 02, 2026. [Online]. Available: <https://www.galp.com/pt/pt/empresas/eletricidade-e-gas/Apoio-ao-Cliente/Centro-de-Informacao/Eletricidade-e-Gas-Natural-da-Galp>
- [53] “INFORMAÇÃO LEGAL SOBRE COMBUSTÍVEIS,” Jan. 2024.
- [54] “Relatório Anual de Resíduos Urbanos 2024 Versão 1.0,” Sep. 2025.
- [55] “Reciclagem – fluxos específicos de resíduos | Relatório do Estado do Ambiente.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://rea.apambiente.pt/content/reciclagem-%E2%80%93-fluxos-espec%C3%ADficos-de-res%C3%ADduos>
- [56] “Valorfita - Valorfita.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://valorfita.com/>
- [57] A. A. Martins, A. R. Araújo, A. Graça, N. S. Caetano, and T. M. Mata, “Towards sustainable wine: Comparison of two Portuguese wines,” *J. Clean. Prod.*, vol. 183, pp. 662–676, May 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.02.057.

- [58] “Controlo dos gases dissolvidos: preservar a qualidade do vinho, da videira à garrafa.” Accessed: Jul. 01, 2026. [Online]. Available: <https://pt.airliquide.com/industrias/bebidas/controlo-dos-gases-dissolvidos-no-vinho>
- [59] “Base de dados de gases fluorados isolados e em misturas,” Oct. 2022.
- [60] Á. Csiba-Herczeg, R. Koteczki, B. Lukács, and B. E. Balassa, “Case study-based scenario analysis comparing GHG emissions of wine packaging types,” *Clean. Eng. Technol.*, vol. 15, p. 100649, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.CLET.2023.100649.
- [61] C. Matos, M. Castro, J. Baptista, A. Valente, and A. Briga-Sá, “The use of water in wineries: A review,” *Science of The Total Environment*, vol. 951, p. 175198, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.175198.