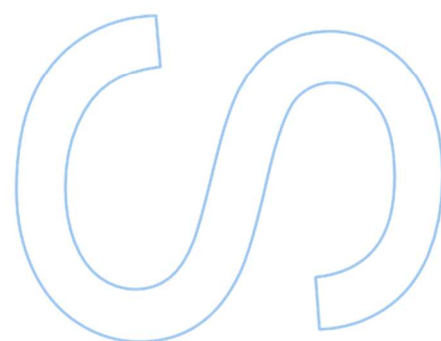
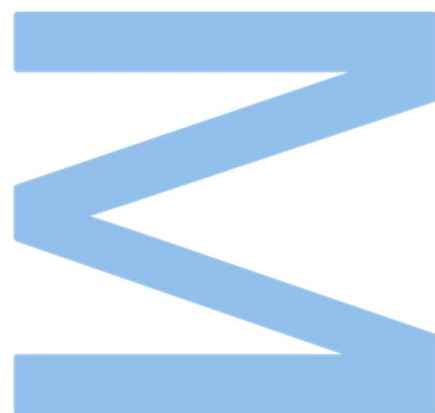


Avaliação da Pegada Carbónica na Produção de Mirtilos



Vitor Filipe da Costa Pinheiro

Mestrado em Engenharia Agronómica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2024

Avaliação da Pegada Carbónica na Produção de Mirtilos

Vitor Filipe da Costa Pinheiro

Mestrado em Engenharia Agronómica

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2024

Orientador

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

Coorientador

Mário Manuel de Miranda Furtado Campos Cunha, Professor Associado,
DGAOT, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

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

Agradecimentos

Na conclusão desta jornada repleta de dificuldades, onde me pus à prova perante este enorme desafio, sinto um grande dever de prestar o merecido reconhecimento a todos aqueles que me ajudaram e que, sem eles, não me teria sido possível todo este enriquecimento e aquisição de competências.

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Professor Catedrático Joaquim Carlos Gomes Esteves da Silva e aos meus coorientadores, Professor Associado Mário Manuel de Miranda Furtado Campos Cunha e Professor Auxiliar Luís Tiago da Costa Pinto da Silva, pela sábia orientação e disponibilidade que sempre demonstraram, prestando um inestimável apoio que me permitiu levar esta hercúlea tarefa a bom porto.

Presto um agradecimento muito especial à minha família, principalmente à minha esposa e aos meus dois filhotes, pela paciência que sempre tiveram aquando da minha ausência e no apoio que sempre fizeram questão de me prestar. Sublinho o inqualificável papel da minha esposa na gestão familiar, que me permitiu concentrar-me e dedicar-me a este desafio. Sem este apoio e compreensão ter-me-ia sido impossível concluir.

Agradeço também aos meus colegas, pelo companheirismo excecional, disponibilidade e apoio que sempre se dispuseram a prestar. Foi um ambiente fantástico que tive a sorte de encontrar neste regresso à faculdade.

Por fim, agradeço a todos que, mesmo não mencionados, contribuíram para este trabalho, que é o culminar de uma grande jornada que foi, para mim, uma grande prova de superação.

Um grande “bem-haja” a todos.

Resumo

Neste trabalho criou-se uma ferramenta de cálculo da pegada carbónica (PC) para a produção de mirtilos em Portugal, utilizando para o efeito a metodologia da avaliação do ciclo de vida (AVC), de acordo com as normas ISO14044:2006. Pretendeu-se preencher uma lacuna existente, pois não existe em Portugal à data, nenhuma ferramenta para o cálculo da PC da produção de mirtilos.

Numa primeira fase, após uma breve revisão bibliográfica da realidade internacional sobre o cálculo da PC em mirtilos, principais metodologias utilizadas e resultados obtidos, apresentou-se a metodologia utilizada para o cálculo da PC, adaptada às especificidades características da produção de mirtilos em Portugal. Numa segunda fase, procedeu-se à validação da ferramenta, procedendo-se ao cálculo da PC de uma exploração de mirtilos, localizada na região Transmontana, Portugal

Utilizando a metodologia de ACV, fez-se o inventário do ciclo de vida (ICV), organizando todos os processos, factores de produção e materiais que compreendem o processo produtivo, procedeu-se à recolha de todos os dados necessários e efectuou-se o cálculo da PC da exploração, usando a produção de 1kg de mirtilos como unidade funcional (UF), apresentando os resultados em emissões de kg CO₂eq /kg de mirtilos durante uma campanha produtiva. Seguindo a metodologia ACV, procedeu-se com a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), para determinar os pontos de impacto mais importantes e apresentar medidas para melhorar o processo e reduzir a PC.

Obteve-se uma PC de 0,2640 kg CO₂eq

/ kg de mirtilos, como resultado da emissão 0,5803 kg CO₂eq por kg de mirtilos e do sequestro de 0,3168 kg CO₂eq por kg de mirtilos durante a campanha de 2024. Verificou-se que a utilização de fertilizantes gerou os maiores impactes na PC (cerca de 50% das emissões totais), seguido da estrutura de protecção anti granizo (cerca de 25% das emissões totais) e o consumo de gásóleo verde (cerca de 10% das emissões totais). Por outro lado, verificou-se que a utilização de fitofármacos teve um impacto residual (pouco mais de 1% do total das emissões).

Por fim, aconselha-se a adopção de medidas que aumentem a eficiência do uso de fertilizantes e que promovam o aumento da produtividade das plantas e a utilização de combustíveis com maior quantidade de biodiesel para reduzir a PC.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida (AVC), Gases de Efeito de Estufa (GEE), Potencial de Aquecimento Global (PAG), Sequestro Carbónico, Produção Agrícola.

Abstract

In this work, a carbon footprint (CF) calculation tool was developed for blueberry production in Portugal, using the life cycle assessment (LCA) methodology following ISO14044:2006 standards. The objective was to address an existing gap, as there was no tool available in Portugal for calculating the CF of blueberry production at the time.

Initially, after a brief literature review on international studies regarding CF calculations for blueberries, the main methodologies employed, and the results achieved, the methodology adapted to the specific characteristics of blueberry production in Portugal was presented. Subsequently, the tool was validated by calculating the CF of a blueberry farm located in the Trás-os-Montes region of Portugal. Using the LCA methodology, a life cycle inventory (LCI) was compiled, organizing all processes, production factors, and materials involved in the production process. All necessary data were collected, and the CF of the farm was calculated using 1 kg of blueberries as the functional unit (FU). Results were presented as emissions in kg CO₂eq per kg of blueberries over a productive season. Following the LCA methodology, a life cycle impact assessment (LCIA) was conducted to identify the key impact points and propose measures to improve the process and reduce the CF.

A carbon footprint (CF) of 0.2640 kg CO₂eq per kg of blueberries was obtained, resulting from emissions of 0.5803 kg CO₂eq per kg of blueberries and the sequestration of 0.3168 kg CO₂eq per kg of blueberries during the 2024 production season. It was found that the use of fertilizers generated the highest impact on CF (about 50% of total emissions), followed by the hail protection structure (approximately 25% of total emissions) and the use of green diesel (around 10% of total emissions). On the other hand, the use of phytopharmaceuticals had a minimal impact, accounting for just over 1% of total emissions.

Finally, measures are recommended to enhance fertilizer efficiency, improve plant productivity, and adopt fuels with a higher biodiesel content to reduce the CF.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA), Greenhouse Gases (GHG), Global Warming Potential (GWP), Carbon Sequestration, Agricultural Production

Índice

Lista de Tabelas	viii
Lista de Figuras	ix
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento.....	1
1.2. Objetivos	4
2. Metodologia	5
2.1. Definição do Objectivo, Âmbito e Unidades Funcional e Temporal.....	6
2.2. Dados para o Inventário do Ciclo de Vida e Factores de Emissão	9
2.3. Metodologia para o Cálculo da Pegada de Carbono	12
2.3.1. Impacto na PC das Infra-estruturas.....	13
2.3.2. Impacto na PC das energias utilizadas	13
2.3.3. Impacto na PC da utilização de fitofármacos e fertilizantes	13
2.3.4. Impacto na PC da utilização de equipamentos de colheita e materiais de embalamento.....	14
2.3.5. Impacto na PC devida aos resíduos indiferenciados	14
2.3.6. Impacto na PC resultante das embalagens dos fitofármacos	14
2.3.7. Impacto na PC resultante da utilização de resíduos orgânicos.....	15
3. Mitigação do impacto da emissão de GEE	17
3.1. Melhoria da eficiência no uso de fertilizantes	18
3.2. Redução da necessidade de utilização de fitofármacos	19
3.3. Melhorar a eficiência energética.....	20
3.4. Gestão do solo e de resíduos orgânicos	21
4. Determinação da Pegada Carbónica numa Exploração de Mirtilos	23
4.1. Apresentação da Exploração	23
4.2. Cálculo da Pegada Carbónica.....	26
4.3. Interpretação dos resultados	31
4.3.1. Infra-Estruturas	32

4.3.2. Energia.....	32
4.3.3. Factores de produção	33
4.3.4. Equipamentos de colheita e materiais de embalamento.....	34
4.3.5. Gestão de resíduos orgânicos.....	35
4.3.6. Variação da MO do solo	35
4.4. Outras medidas para aumentar o sequestro de carbono.....	36
Conclusão.....	37
Referências Bibliográficas	39

Lista de Tabelas

Tabela 1 - PAG de GEE num horizonte de 100 anos	7
Tabela 2 - FE de pesticidas e fertilizantes por unidade e fonte da informação	10
Tabela 3 - Factores de Emissão FE de combustíveis e electricidade por unidade e fonte da informação	11
Tabela 4 - FE de materiais para colheita e embalamento e materiais estruturais por unidade e fonte da informação	11
Tabela 5 - FE dos resíduos gerados na exploração por unidade e fonte da informação	11
Tabela 6 – Breve caracterização do aparelho produtivo da exploração de mirtilos	23
Tabela 7 – N.º de plantas, variedades e áreas dos três campos de mirtilos da exploração	24
Tabela 8 – Estruturas instaladas na exploração de mirtilos	25
Tabela 9 – Gasóleo agrícola utilizado nas operações culturais em 2024	26
Tabela 10 - Pesticidas e fertilizantes utilizados na exploração em 2024	27
Tabela 11 – Materiais de colheita e embalamento usados na exploração na campanha de 2024	27
Tabela 12 – Biomassa, em kg de matéria verde resultante do controlo de infestantes na entrelinha, obtidos em 5 talhões amostrais representativas da parcela experimental, durante um ciclo cultural	28
Tabela 13 – Biomassa, em kg de matéria verde, das folhas e ramos resultantes da poda recolhidos em 10 arbustos representativos da parcela experimental, durante um ciclo cultural	29
Tabela 14 – kg de biomassa total em verde, em kg de matéria verde resultante do controlo de infestantes, folhas e podas das plantas	29

Lista de Figuras

Figura 1 - Fases de uma ACV (ISO, 2006).	5
Figura 2 - Representação esquemática das fronteiras deste estudo – “do berço ao portão”	7
Figura 3 – Campo de mirtilos, variedade Huron onde se vêem as linhas com tela “anti-ervas” de cobertura e entrelinhas com cobertura permanente.	23
Figura 4 – Cálculo da PC da exploração de mirtilos.....	30

1. Introdução

1.1. Enquadramento

As actividades humanas, principalmente através das emissões de gases de efeito estufa, têm inquestionavelmente causado o aquecimento global, com a temperatura global da superfície atingindo 1,1°C acima dos níveis de 1850-1900 no período de 2011-2020. As emissões globais de gases de efeito estufa continuaram a aumentar, com contribuições históricas e contínuas provenientes do uso insustentável de energia, do uso do solo e das alterações no uso do solo, dos estilos de vida e padrões de consumo e produção em diferentes regiões, entre e dentro de países e entre indivíduos (Lee and Romero, 2023).

Atender à crescente demanda por alimentos em todo o mundo implicará grandes custos ambientais, portanto, o principal desafio atual é aumentar a produção agrícola e, ao mesmo tempo, implementar métodos de produção sustentáveis (FAO, 2009). Seguindo o último relatório da FAO sobre as emissões de gases de efeito estufa (GEE) na agricultura, as emissões da agricultura, silvicultura e pesca quase duplicaram nos últimos 50 anos, podendo aumentar mais 30% até 2050 (Conchedda et al., 2023). Os mesmos autores referem que a produção agrícola representou quase metade das emissões totais dos sistemas agro-alimentares em todo o mundo, enquanto os processos pré e pós-produção contribuíram com um terço, e a mudança no uso da terra, um quinto.

No entanto, além das fontes de emissão, a agricultura também atua como sumidouro de CO₂, na biomassa, por meio da fotossíntese e no solo (Shepherd et al., 2003; Kroodsma and Field, 2006).

É difícil padronizar os impactos ambientais derivados dos sistemas agrícolas, devido à alta variabilidade das práticas agrícolas e à diversidade de produtos cultivados. Esses impactos dependem da área geográfica, do modo de produção (convencional / biológico, intensivo / extensivo ...), das práticas culturais (eg. Regadio/sequeiro, preparação e manutenção do solo) da distribuição e comercialização (exportações ou mercado local), entre outros. Apesar da variabilidade associada a múltiplos factores da produção agrícola, e com o objectivo de promover a implementação de práticas agrícolas mais sustentáveis, torna-se essencial disponibilizar aos produtores informações que possibilitem a identificação e categorização dos pontos fortes e das fragilidades dos seus sistemas agrícolas face aos impactos ambientais. Por essas razões, nos últimos anos,

a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido cada vez mais utilizada para analisar a sustentabilidade dos sistemas de produção de alimentos (Roy et al., 2009).

Do que sabemos, não há estudos científicos em Portugal disponíveis que utilizem dados de campo para avaliar a pegada carbónica da produção de mirtilos. Girgenti et al. (2013) analisaram as emissões de gases de efeito estufa e o uso de energia na produção integrada de mirtilo e framboesa na Itália. Percival and Dias (2012) conduziram um estudo semelhante sobre mirtilos silvestres, explorando diferentes cenários de intensidades energéticas. Cordes et al. (2016) avaliaram a PC da produção de mirtilos orgânicos no Chile e Pérez et al. (2022) fizeram uma AVC de pomares de mirtilos em pequena escala nas Astúrias, norte de Espanha.

A importância para a agricultura nacional da produção de mirtilos, e a falta de informações sobre os impactos ambientais do cultivo deste fruto motivaram este estudo, que tem como objectivo dar os primeiros passos para avaliar a PC da produção de mirtilos em Portugal, a fim de identificar seus principais factores de influência e fornecer critérios ambientais para melhorar o cultivo deste fruto.

Mitigar a PC na produção de mirtilos, bem como em outro qualquer produto agrícola, passa por alterar ou adaptar o “modus operandi” na utilização dos factores de emissão de GEE associados à produção.

Para Pérez et al. (2022), fertilizantes, combustíveis fósseis e resíduos foram as fontes mais relevantes de impactos. O mesmo autor defende que a pegada de carbono diminui com a aplicação de boas condições agrícolas e ambientais, e que se torna mais relevante em pomares pequenos com produtividades moderadas, dos quais resultam baixos impactos ambientais.

Segundo Karwacka et al. (2020), uma das ideias para optimização da produção, passa pela possibilidade de utilizar, tanto quanto seja possível, fontes de energia renovável. Este é um aspecto importante na minimização do impacto na emissão de GEE resultante da utilização de energia no processo produtivo. Para além do facto de que o uso de fontes de energia convencionais causa danos ambientais relacionados tanto à exploração quanto ao esgotamento de recursos minerais. Outra vantagem do uso de energias renováveis encontra-se nas condições económicas vantajosas relativamente ao custo mais baixo ao consumidor da energia “verde”. A criação de instalações para a produção de energia a partir de fontes como vento, água, sol e biomassa tem também benefícios no sector agro-alimentar.

Segundo Aguilera et al. (2013), a utilização de fertilizantes orgânicos e técnicas de economia de água pode reduzir as emissões de óxido nitroso na agricultura em condições climáticas mediterrâneas. A análise dos dados revela que, quando comparados com fertilizantes sintéticos, os fertilizantes orgânicos sólidos apresentam menores emissões cumulativas de N_2O . Além disso, a aplicação de fertilizantes orgânicos resulta em emissões directas de N_2O inferiores às provocadas por fertilizantes sintéticos. A liberação mais lenta de nitrogénio mineral a partir de fertilizantes orgânicos pode prevenir níveis elevados de nitrogénio no solo, reduzindo as perdas de N_2O .

Os resultados sugerem que em sistemas de rega com elevada dotação de água (ex. rega por alagamento) ocorrem as maiores perdas de N_2O , enquanto sistemas de rega com maior eficiência de água e sistemas de sequeiro mostram reduções significativas. Evidências indicam que fertilizantes orgânicos podem contribuir para reduções indirectas de emissões de N_2O , tanto a montante como a jusante do sistema de cultivo.

Outra forma de diminuir a libertação de N_2O para a atmosfera prende-se com operações de cultura que reduzam a intensidade de mobilização do solo, nomeadamente o controlo de infestantes sem a mobilização do solo na entrelinha. Segundo Pow et al. (2020), a decomposição dos resíduos deixados no campo, resultantes do destroçamento das infestantes na entrelinha e da lenha de poda dos arbustos contribuiriam para o sequestro de carbono.

A diminuição da utilização de fitofármacos de síntese, produtos que implicam uma grande pegada carbónica resultante da sua elaboração, transporte e distribuição (Lal, 2004), além de provocarem um aumento dos riscos de acumulação de resíduos nos produtos, desequilíbrio no ecossistema agrícola e, potencialmente, poluição do ambiente (Santos, 2001). Implementação de estratégias de protecção biológicas contribuem indirectamente para a diminuição da pegada carbónica associada à produção, além dos benefícios agro-ambientais que lhe estão associadas.

Os procedimentos pós-colheita, nomeadamente os relativos ao transporte da fruta para o armazém, utilização de materiais para embalamento e transporte para entreposto, constituem também uma fonte de emissão de GEE, pelo que a redução da PC passa também pela otimização destes procedimentos. Assim, segundo Girgenti et al. (2013), a gestão pós-colheita, bem como os processos auxiliares relacionados, como o transporte, os materiais utilizados e o desperdício produzido em cada estágio deverão também ser contabilizados no balanço de carbono da exploração.

O conceito de desenvolvimento sustentável é cada vez mais importante no sector agro-alimentar e na economia global. Para ajudar a determinar a actividade humana prejudicial, as pegadas ambientais de produtos e serviços são calculadas usando o método de ACV. A redução das emissões de GEE é possível devido ao uso de fontes de energia renovável e ao abandono do uso de fertilizantes artificiais e produtos de protecção de plantas (Karwacka et al., 2020).

No entanto, o conceito de desenvolvimento sustentável traduz-se em procurar maneiras eficazes de resolver os problemas da população em todo o mundo, nomeadamente, e no que à agricultura diz respeito, no atendimento às necessidades de alimentar uma população em crescimento aliando os desafios das mudanças climáticas, poluição ambiental, garantia de segurança alimentar e de viabilidade económica inerentes ao processo. Na resolução desta problemática emergente, torna-se necessário o cálculo da PC associada à produção agrícola, a determinação das várias fases do ciclo de vida e o seu peso específico na PC, para sustentadamente tomar as melhores decisões que permitam mitigar a emissão de GEE.

1.2. Objetivos

A produção de mirtilos é uma actividade agrícola com uma grande expansão em Portugal. Sendo um sector organizado e orientado para a produção de fruta de qualidade superior, está direccionado principalmente para o mercado exterior (principalmente o Europeu).

A pressão dos mercados, por valorização e/ou aceitação dos produtos agrícolas, na problemática agro-ambiental, impulsiona a necessidade de alterar o paradigma produtivo de modo a melhorar técnicas de produção orientadas para a redução do impacto da agricultura no ambiente, nomeadamente, na redução da PC associada à produção agrícola.

A nível nacional, verifica-se falta informação de dados de campo, sobre emissões de GEE resultantes do cultivo de mirtilos, e da PC associada a esta produção.

Pretende-se com este estudo, primeiramente, desenvolver uma metodologia de cálculo que possa ser utilizada para a determinação da PC associada à produção de mirtilos em Portugal, utilizando a metodologia de ACV (ISO, 2006).

Posteriormente, efectuar um ensaio de validação da ferramenta criada com o cálculo da PC de uma exploração em produção plena de mirtilos ao ar livre, situada na região Transmontana em Portugal.

2. Metodologia

A metodologia utilizada na elaboração de procedimento para o cálculo da PC na produção de mirtilos, será a de ACV.

A metodologia ACV é um instrumento muito útil para avaliar o impacto ambiental de um produto, processo ou actividade ao longo do seu ciclo de vida. É considerado atualmente um instrumento relevante para comparar produtos, processos e serviços, servindo como base para a formulação de uma declaração ambiental do produto (Schau and Fet, 2008), e é amplamente utilizada para investigar as pegadas ambientais (Cellura et al., 2012; Onat et al., 2014; Longo et al., 2017).

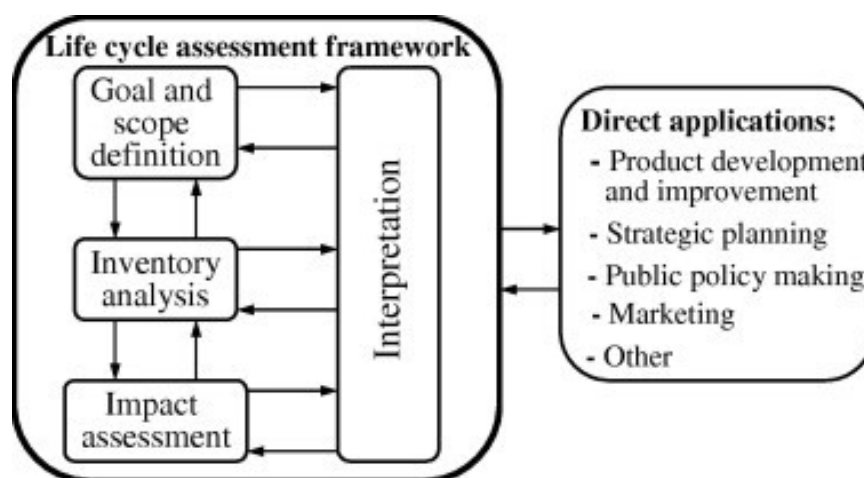


Figura 1 - Fases de uma ACV (ISO, 2006).

O método de ACV é orientado internacionalmente por normas da Organização Internacional de Normalização (ISO), série 14040:2006 (ISO, 2006). De acordo com essas directrizes, um estudo de avaliação do ciclo de vida deve envolver quatro fases (Figura 1):

- Definição de objectivo e âmbito;
- Inventário do Ciclo de Vida (ICV);
- Avaliação de Impacto (ou Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida - AICV);
- Interpretação dos resultados, combinando as descobertas para tirar conclusões e produzir recomendações em relação aos objectivos do estudo.

2.1. Definição do Objectivo, Âmbito e Unidades Funcional e Temporal

Pretende-se com este trabalho criar uma ferramenta que possa ser utilizada por produtores de mirtilos em Portugal para o cálculo da PC associada ao seu modelo produtivo, de modo a determinar o encargo ambiental do produto (Objectivo 1), preenchendo uma lacuna existente neste sector e que representa uma exigência que muitos mercados já colocam aos produtores de mirtilos, integrada por exemplo em parâmetros para certificação como é o caso da certificação LEAF (Linking Environment And Farming). A certificação LEAF exige que os produtores demonstrem não apenas um compromisso com a sustentabilidade, mas também a capacidade de monitorar, reduzir e reportar as emissões de GEE associadas à produção agrícola, o que inclui o impacto directo da PC do produto (LEAF).

Por outro lado, pretende-se também fornecer sugestões para desenvolver modos de produção mais sustentáveis (objectivo 2), frequentemente associadas à avaliação dos pontos críticos ambientais (Adebah et al., 2010).

A construção de um bom modelo de um sistema que possa descrever correctamente o sistema real é de extrema importância (Mouron et al., 2012). Nesse sentido, uma definição precisa dos limites do sistema é essencial.

Os limites do sistema são frequentemente ilustrados por um diagrama geral de fluxos de entrada e saída (Figura 2). Todas as operações que contribuem para o ciclo de vida do produto, processo ou atividade estão incluídas dentro dos limites do sistema. Esta ferramenta pretende determinar o impacto das operações no processo de produção de mirtilos. Assim, neste caso, o limite do sistema é “do berço ao portão” (Cradle-to-gate, da língua inglesa), englobando os processos produtivos até à entrega no armazém.

A Unidade Funcional (UF) é frequentemente baseada na massa do produto em estudo. O propósito da UF é fornecer uma unidade de referência à qual os dados do inventário sejam normalizados (Roy et al., 2009). Neste caso, para saber o impacto da produção de mirtilos, a UF é um quilograma de mirtilos frescos produzidos.

A Unidade Temporal (UT) refere-se ao intervalo de tempo considerado para avaliar os impactes ambientais do produto. Na produção de mirtilos e, considerando os limites deste sistema, considera-se como UT uma campanha produtiva ou, neste caso um ano, tendo em consideração que a produção de mirtilos é uma cultura lenhosa perene que apresenta uma produção por ano.

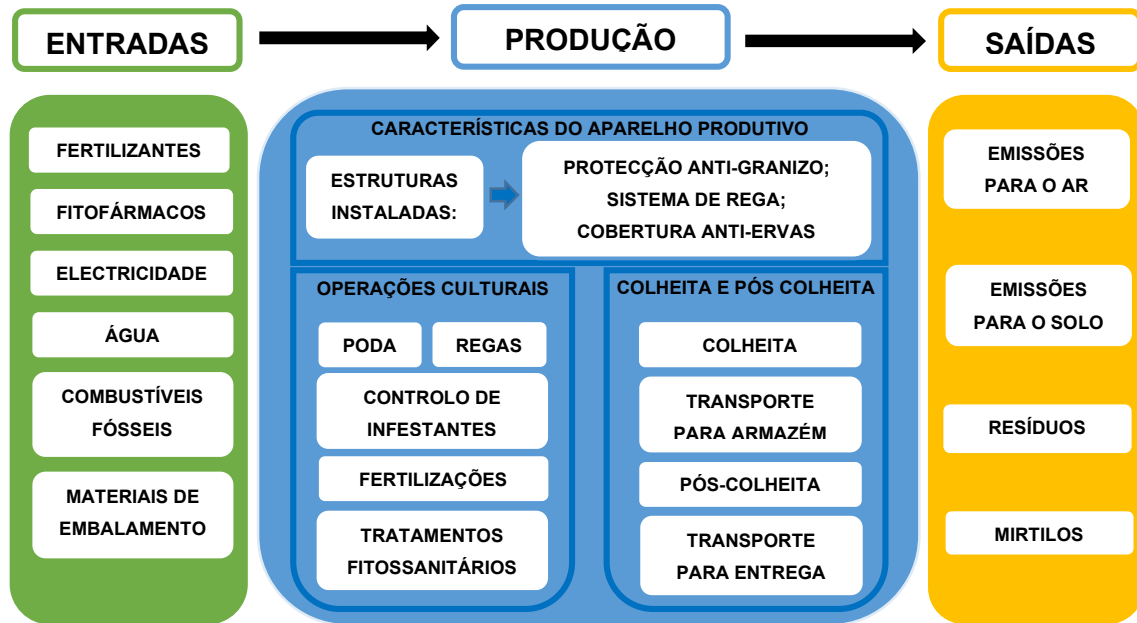


Figura 2 - Representação esquemática das fronteiras deste estudo – “do berço ao portão”

Neste trabalho, pretende-se avaliar o impacto ambiental da produção de mirtilos em emissão de GEE. Deste modo, o impacto ambiental em PC é quantificado através da soma do Potencial de Aquecimento Global (PAG) de cada GEE emitido durante uma UT por UF. Assim, os resultados são apresentados em quilogramas de CO_{2eq} por quilograma de mirtilos produzidos durante uma campanha.

Segundo MacCarthy et al. (2023), o PAG é uma forma de fornecer uma medida simples dos efeitos radiactivos relativos das emissões de diversos gases. Este índice é definido como o forçamento radiactivo cumulativo entre o presente e um horizonte temporal futuro, causado por uma unidade de massa de gás emitida actualmente, expresso em relação ao CO₂. É necessário definir um horizonte temporal porque os gases têm diferentes tempos de permanência na atmosfera. A Tabela 1 apresenta os PAGs definidos para um horizonte de 100 anos sem retroalimentação clima-carbono, conforme o Quinto Relatório de Avaliação (IPCC, 2014).

Tabela 1 - PAG de GEE num horizonte de 100 anos

GÁS		PAG
Dióxido de Carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	28
Óxido Nitroso	N ₂ O	265

Os pomares de mirtilos são sistemas perenes lenhosos com duração muito variável (10–30 anos), dependendo do sistema de produção e das práticas culturais. O longo ciclo de cultivo há processos que ocorrem apenas uma vez durante todo o ciclo de vida (como a implantação e a remoção do pomar) e outros que se repetem diversas vezes, dependendo da duração do ciclo (como a poda e a fertilização). Além disso, a produção de um pomar de mirtilos ocorre entre dois e quatro anos após a instalação. Antes dessa idade, a produtividade pode ser significativamente mais baixa (ou até inexistente), pois as plantas ainda são muito jovens (Cerutti et al., 2014).

Como o objectivo deste trabalho é criar uma ferramenta para o cálculo da PC associada ao produto, só serão considerados os processos produtivos directamente associados à produção de mirtilos, isto é, apenas as fases produtivas do pomar de mirtilos. Considerando apenas o período produtivo, os impactes ambientais do produto final serão subestimados (Cerutti et al., 2010 ; Cerutti et al., 2011),. Todavia, considerando a grande complexidade na modelação de sistemas perenes lenhosos e os objectivos propostos para este trabalho propõe-se uma abordagem de curto prazo, cíclica anual.

Deste modo, não serão consideradas para a ACV:

- As operações de preparação para instalação e instalação do pomar, como a preparação do terreno, fertilizações e operações de transporte e instalação das estruturas necessárias;
- O desenvolvimento das plantas em viveiro, transporte para a parcela e operações plantação;
- Todos os edifícios e instalações existentes tais como armazéns, cabine de rega, e outras instalações necessárias;
- A aquisição de equipamentos agrícolas como tractores e alfaías, equipamentos de medição, armazenamento e transporte;
- Os processos de transformação e/ou embalagem, transporte e distribuição aos pontos de venda, após a entrega dos mirtilos no entreposto.

Em suma, são contemplados neste estudo os factores que, directa ou indirectamente, influem na pegada carbónica associada à produção de mirtilos. São contempladas as contribuições de todas as estruturas instaladas, de acordo com a sua perspectiva de vida útil (estruturas de protecção, rega, telas de protecção, ...), materiais de utilização única, como é o caso do material de embalagem, bem como o contributo de todos os factores de produção utilizados e técnicas e/ou operações efectuadas. O impacto da utilização dos equipamentos agrícolas no apoio à execução de diversas operações

culturais e demais equipamentos de apoio é determinado a partir do seu consumo em energia (combustível e/ou elétrica).

2.2. Dados para o Inventário do Ciclo de Vida e Factores de Emissão

Na determinação do impacto ambiental associado à produção de mirtilos, há a necessidade de efectuar uma prévia recolha dos dados representativos de todo o aparelho produtivo.

Esta fase é a mais intensiva em trabalho e a que consome mais tempo em comparação com as outras fases de uma ACV, principalmente devido à coleta de dados. Utilizam-se dados de bases de dados para processos que não são específicos de um produto, como informações gerais sobre a produção de electricidade, carvão ou embalagens. Para dados específicos de produtos, são necessários dados específicos do local (Roy et al., 2009).

Assim, torna-se necessário proceder à recolha de dados que caracterizam a exploração, dados sobre os factores de produção e materiais utilizados (dados secundários) e dados que reflectem as práticas agronómicas aplicadas no sistema de produção (dados primários).

Os dados referentes à unidade produtiva são:

- Apresentação do aparelho produtivo, localização, áreas ocupadas, cultura e variedades;
- Condução da cultura, compassos e densidades;
- Duração do ciclo cultural.

Os dados primários são variáveis tanto temporalmente (entre campanhas) como espacialmente (entre diferentes locais) e compreendem:

- Quantidades utilizadas de fertilizantes e pesticidas;
- Quantidade de energia utilizada no ciclo produtivo, nomeadamente combustíveis utilizados nas operações culturais e electricidade consumida;
- Práticas agrícolas de gestão do solo, gestão da água de rega, controlo de infestantes, controlos sanitário e nutricional, podas e gestão de resíduos;
- Rendimento e/ou produtividade.

Segundo Roy et al. (2009), os dados secundários (transporte, extração de materiais, processamento de materiais, produção de produtos frequentemente utilizados, como plásticos e papelão, e descarte) geralmente podem ser encontrados em bancos de dados de ACV, e literatura científica:

- Factores de produção (fertilizantes e pesticidas);
- Energia (combustíveis e electricidade);
- Materiais de embalagem (caixas de cartão canelado, cuvetes de plástico, cuvetes de madeira, ...);
- Materiais integrantes de estruturas instaladas, como as infra-estruturas de rega, infra-estruturas de protecção da cultura (infestantes, pássaros, granizo, geada, ...).

Os factores de emissão (FE) são coeficientes que quantificam a quantidade de GEE emitidos por fator de produção utilizado (tabela 2 - fertilizantes e pesticidas), por unidade de actividade executada (tabela 3 - combustíveis e energia), ou material empregue (tabela 4 - plásticos, metais, cimento, ...).

Os FE apresentados nas tabelas 2, 3 e 4 representam o impacto com a produção e transporte em kg CO_{2eq} por UF (kg, L, kW, m²).

Tabela 2 - FE de pesticidas e fertilizantes por unidade e fonte da informação

	Produto	FE	Unidade	Fonte
Pesticidas	- Herbicidas	35,80	kg CO _{2eq} / kg (s.a.)	SimaPro (2024)
	- Insecticidas	30,00	kg CO _{2eq} / kg (s.a.)	SimaPro (2024)
	- Fungicidas	30,00	kg CO _{2eq} / kg (s.a.)	SimaPro (2024)
Fertilizantes	- Fosfato Monopotássico	0,99	kg CO _{2eq} / kg	CarbonCloud (2023)
	- Nitrato de Cálcio	1,65	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)
	- Nitrato de Amónio	4.83	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)
	- Nitrato de Potássio	13,00	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)
	- Sulfato de Amónio	5.76	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)
	- Sulfato de Magnésio	0,206	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)
	- Sulfato de Potássio	1,98	kg CO _{2eq} / kg	SimaPro (2024)

Os resíduos que são tratados dentro da exploração podem ter um impacto ambiental negativo, quando contribuem para a emissão de GEE, positivo, quando contribuem para a retenção de carbono ou neutro, quando não têm qualquer impacto ambiental.

Tabela 3 - Factores de Emissão FE de combustíveis e electricidade por unidade e fonte da informação

	Produto	FE	Unidade	Fonte
Combustíveis	- Gasóleo	2,3	kg CO ₂ eq / L	Galp (2024)
	- Gasóleo Verde	2,3	kg CO ₂ eq / L	Galp (2024)
	- Gasolina	1,9	kg CO ₂ eq / L	Galp (2024)
	- Óleo	1,01	kg CO ₂ eq / kg	Lal (2004)
	Electricidade	0,27	kg CO ₂ eq / Kw.h	EDP (2024)

Tabela 4 - FE de materiais para colheita e embalamento e materiais estruturais por unidade e fonte da informação

	Produto	Material	FE	Unidade	Fonte
Material de Colheita	- caixas de colheita	PVC	2,59	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)
	- carrinhos de colheita	Ferro	1,58	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)
	Embalamento - caixas de cartão	Cartão canelado	0,54	kg CO ₂ eq / kg	Cartonodulé de France (2024)
Estrutura anti-granizo	Postes	Cimento	0,8	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)
	Rede anti-Granizo	Polietileno	1,07	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)
	Arame	Aço galvanizado	5,2	kg CO ₂ eq / kg	GreenhouseGas Protocol (2024)
	Cabo de Aço	Aço galvanizado	5,2	kg CO ₂ eq / kg	GreenhouseGas Protocol (2024)
	Sistema de rega - tubagens	PEAD	1,08	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)
	Mulch sintético - tela anti-ervas	PEBD	1,96	kg CO ₂ eq / kg	SimaPro (2024)

Tabela 5 - FE dos resíduos gerados na exploração por unidade e fonte da informação

Resíduo	FE			Unidade	Fonte
	Transporte	Incineração	Aterro		
- Indiferenciado	0,018	0,018	0,015	kg CO ₂ eq / kg	OIV (2017)
- Embalagens de Fitofármacos	Produção 3,49	Incineração 2,313	Reciclagem 2,029	kg CO ₂ eq / kg	FioDourado (2016)

Os resíduos recicláveis, tais como o plástico, o metal, o vidro e o papel não são considerados como fonte de emissão de GEE da exploração, pois o seu tratamento/gerenciamento é exterior ao aparelho produtivo e entram numa economia circular, onde são reciclados para poderem ser novamente utilizados. O impacto ambiental desse tipo de resíduos entra indirectamente para o cálculo da PC da exploração, aquando da aquisição dos materiais que lhes deram origem.

As embalagens dos produtos fitofarmacêuticos têm, ao abrigo da lei (Dec.lei n.º 187/2006, de 19 de Setembro) que ser entregues em locais autorizados para a recepção

deste tipo de produtos, que posteriormente os entrega à entidade responsável pela gestão deste tipo de resíduos (ValorFito). No tratamento efectuado, 90% das embalagens são recicladas e 10% das embalagens são incineradas (FioDourado, 2016).

Na Tabela 5 sintetizam-se os FE referentes aos resíduos não recicláveis produzidos no decorrer da execução das operações culturais necessárias. Os FE são quantificados em kg CO_{2eq} por unidade funcional (kg).

2.3. Metodologia para o Cálculo da Pegada de Carbono

Após a execução do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), etapa fundamental onde são colectados e quantificados todos os dados relativos às entradas e saídas de um sistema ao longo de seu ciclo de vida (recursos consumidos como energia, água e matérias-primas, emissões geradas para o ar, água e solo e os produtos e co-produtos gerados), o passo seguinte é a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) (ISO, 2006).

Para harmonizar os métodos de cálculo do impacto ambiental dos sistemas de produção de alimentos com um foco específico nas emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de bens e serviços, foram desenvolvidas várias diretrizes como a Publicly Available Specification (PAS2050) desenvolvida pelo British Standards Institute e pelo Carbon Trust (Trust, 2007; BSI, 2011) o Bilan Carbone francês (ADEME, 2010) e o GHG Protocol elaborado pelo World Resources Institute e pelo World Business Council for Sustainable Development (Wbcsd, 2004).

Para a determinação da PC do produto, a ACV é unicamente baseada nas alterações climáticas, por PAG, através de emissões de GEE. Neste trabalho não é pretendido analisar categorias de impacto que quantificam os efeitos nos ecossistemas, como por exemplo a eutrofização e acidificação, efeitos no consumo de recursos ou na toxicidade humana.

Deste modo, após a quantificação e dimensionamento da exploração e processos produtivos e com a utilização dos vários FE associados a cada factor de produção e/ou material utilizado, passa-se à determinação do impacto de cada um dos processos individualmente e, finalmente, para a determinação da PC da produção de mirtilos por UF e UT.

Seguidamente procede-se à descrição dos métodos para o cálculo utilizados.

2.3.1. Impacto na PC das Infra-estruturas

O cálculo da PC associada às **infra-estruturas** obtém-se por multiplicação dos FE de cada um dos materiais utilizados por quantidade utilizada, dividindo-se o resultado pelos anos de vida útil esperados de cada material:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = (\text{FE (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg, m ou m}^2) \times \text{Quantidade total (kg, m ou m}^2)) / n^{\circ} \text{ anos (vida útil)}$$

2.3.2. Impacto na PC das energias utilizadas

Para a energia utilizada, no caso da electricidade utilizada, só haverá impacto ambiental se a origem desta não for de proveniência renovável (produção).

O impacto com as operações culturais efectuadas com recurso a equipamentos com motores de combustão é calculado por consumo em energia (gasóleo verde, gasóleo rodoviário, gasolina, ...).

O cálculo da PC, independentemente da **energia utilizada**, é efectuado por multiplicação do FE referente à energia utilizada por quantidade utilizada por UT:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{FE (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /L ou kW)} \times \text{Quantidade utilizada num ciclo cultural (L ou kW)}$$

2.3.3. Impacto na PC da utilização de fitofármacos e fertilizantes

O cálculo do impacto da aplicação de **fitofármacos** na PC por UT é feito em dois passos.

Assim, primeiramente tem de se determinar a quantidade total em massa da substância activa utilizada, para depois multiplicar pelo FE que se lhe encontra associado:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa de s.a./ ano (kg)} \times \text{FE}$$

De forma similar, para o cálculo do impacto que a aplicação de **fertilizantes** por UT tem na PC, é necessário calcular primeiramente a massa/UF da unidade fertilizante (a partir da sua % no fertilizante) e ulterior multiplicação pelo seu FE. No caso da utilização de fertilizantes compostos, a massa de CO_{2eq} obtém-se após a soma de todas as emissões de cada unidade fertilizante:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa da unidade fertilizante (ud. fert.) / ano (kg)} \times \text{FE}$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa da ud. fert.1 / ano (kg)} \times \text{FE1} + \text{Massa da ud. fert.2 / ano (kg)} \times \text{FE2} + \dots$$

O cálculo do impacto em emissões de GEE do conjunto da fertilização por UT é obtido a partir da soma de todos os impactes resultantes da aplicação de cada fertilizante:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano) Fert.1} + \text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano) Fert.2} + \dots$$

Com a utilização de fertilizantes azotados, sejam estes de natureza orgânica ou mineral, há ainda que contabilizar o contributo em emissões de GEE devido às perdas directas de nitrogénio para a atmosfera, que segundo as directrizes da IPCC (2006) se contabilizam da seguinte forma:

$$\text{Massa N}_2\text{O} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa de N} \text{ (kg/ano)} \times 44/28 \times 0,01$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa N}_2\text{O} \text{ (kg/ano)} \times 265 \text{ (sendo 265 o FE do N}_2\text{O (MacCarthy et al., 2023))}$$

2.3.4. Impacto na PC da utilização de equipamentos de colheita e materiais de embalamento

No caso dos **equipamentos de colheita**, o procedimento de cálculo é semelhante ao utilizado para os materiais utilizados nas infra-estruturas. Deste modo, a emissão em massa de CO_{2eq} é calculada por multiplicação dos FE dos materiais de origem por quantidade total em UF, com ulterior divisão pelos anos de vida útil estimados:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = (\text{FE (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg, m ou m}^2\text{)} \times \text{Quantidade total (kg, m ou m}^2\text{)}) / n^\circ \text{ anos (vida útil)}$$

O impacto dos **materiais de embalamento** em massa de CO_{2eq} por UT é calculado por multiplicação dos FE dos materiais de origem por quantidade total em UF:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{FE (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg)} \times \text{Quantidade utilizada por UT (kg)}$$

2.3.5. Impacto na PC devida aos resíduos indiferenciados

Para os **resíduos indiferenciados**, é calculada a emissão de CO_{2eq} no transporte e eliminação dos resíduos produzidos durante uma UT:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa/ ano (kg)} \times \text{FE - transporte (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg)} \times \text{FE - incineração (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg)} \times \text{FE - aterro (kg CO}_{2\text{eq}} \text{ /kg)}$$

2.3.6. Impacto na PC resultante das embalagens dos fitofármacos

A quantificação do impacto em massa de CO_{2eq} emitido para produção e tratamento das **embalagens dos produtos fitofarmacêuticos** é obtida por soma das emissões

referentes à produção com as emissões referentes ao tratamento das embalagens (reciclagem e incineração):

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{produção (kg/ano)} = \text{FE - produção (kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg)} \times \text{Quantidade utilizada numa UT (kg)}$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{incineração (kg/ano)} = \text{FE - incineração (kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg)} \times 0,1 \text{ (10\% incineradas)} \times \text{Quantidade utilizada numa UT (kg)}$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{reciclagem (kg/ano)} = \text{FE - reciclagem (kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg)} \times 0,9 \text{ (90\% recicladas)} \times \text{Quantidade utilizada numa UT (kg)}$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{produção} + \text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{incineração} + \text{Massa CO}_{2\text{eq}} - \text{reciclagem}$$

2.3.7. Impacto na PC resultante da utilização de resíduos orgânicos

O contributo dos **resíduos orgânicos** para a PC, depende do seu destino final, isto é, da forma como se efectua a sua gestão. Deste modo, juntamente com a gestão que se faz do solo, ou seja, da forma como este é trabalhado, com ou sem mobilização, e da biomassa orgânica dos restos de poda, biomassa das folhas que caem no final do ciclo vegetativo das plantas de mirtilo e o controlo de infestantes nas entrelinhas, vamos ter:

- Operações que contribuem para a emissão de GEE:
 - Operações culturais que envolvam a mobilização do solo, com exposição a condições de oxidação do azoto, em que o cálculo das emissões será, em acordo com o IPCC (2006), através das emissões de N₂O e posterior conversão em CO₂eq:

$$\text{Massa N}_2\text{O (kg/ano)} = \text{Área mobilizada (ha/ano)} \times 3 \text{ kg}$$

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa N}_2\text{O (kg/ano)} \times 265 \text{ (sendo 265 o FE do N}_2\text{O (MacCarthy et al., 2023))}$$

- Resíduos orgânicos retirados para posterior incineração (restos de poda e/ou outros resíduos de matéria orgânica) com libertação de dióxido de carbono para a atmosfera.
- Operações que contribuem para o sequestro de carbono no sistema, incorporado sob a forma de matéria orgânica:
 - Utilização de estrumes, resíduos orgânicos ou outras fontes orgânicas, aplicadas ao solo para aumento do teor de MO, utilizando-se para o cálculo do

carbono sequestrado os resultados do teor de MO do solo avaliados por análise do solo em anos consecutivos (ano do cálculo e ano anterior) em dois passos:

$$\text{Massa Total de solo (MTS) (kg)} = \text{Volume de solo (m}^3\text{)} \times \rho \text{ (kg/ m}^3\text{)}$$

Em que, ρ corresponde à massa volúmica do solo e o volume é obtido pela seguinte equação:

$$\text{Volume do solo (m}^3\text{)} = \text{área do solo (m}^2\text{)} \times \text{profundidade (m)}$$

O balanço em massa do carbono é determinado por:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{MTS (kg)} \times (\% \text{MO solo (ano n)} - \% \text{MO solo (ano n-1)}) \times 0,58 \times (44,01 / 12,011) \times 0,1$$

Sendo a **%MO** do solo obtida nos resultados das análises ao solo e **0,58** corresponde à percentagem de carbono na MO (58%), de acordo com o padrão estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2006).

- Relativamente aos resíduos orgânicos depositados sobre o solo após destroçamento, conhecendo a massa de lenha de poda (kg) acabada de obter, que de acordo com um estudo publicado no Journal of Agricultural Engineering (P.R. Porceddu, 2010) tem uma percentagem de humidade de 50%, que 50% da massa seca da lenha é carbono elementar (Nair, 2011), e que 33% desse carbono fica retido no solo (Toensmeier, 2016), podemos estimar a quantidade de CO₂ equivalente que é sequestrada no solo na sequência do espalhamento da lenha de poda sobre o solo. Utilizando a mesma metodologia, estima-se a contribuição de todos os resíduos orgânicos (lenhas de poda, resíduos do controlo de infestantes e folhas, destroçados e deixados no solo) da seguinte forma:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Massa dos resíduos orgânicos (kg)} \times 0,5 \times 0,5 \times 0,33 \times (44,01 / 12,011)$$

- Contribuição da não mobilização do solo para o sequestro de carbono:

De acordo com Aguilera et al. (2013), o aumento anual de carbono de um solo sem mobilização é de 0,44 tC/ha/ano (área em hectares). Deste modo, pode-se calcular o sequestro de carbono em kg de CO_{2eq} da seguinte forma:

$$\text{Massa CO}_{2\text{eq}} \text{ (kg/ano)} = \text{Área do solo (ha)} \times 0,44 \times 1000 \times (44,01 / 12,011)$$

3. Mitigação do impacto da emissão de GEE

Como último ponto na ACV, de acordo com a norma ISO 14040:2006, (ISO, 2006) procede-se com a interpretação dos resultados obtidos, combinando as descobertas para tirar conclusões e produzir recomendações em relação aos objectivos do estudo.

De acordo com a FAO, as Boas Práticas Agrícolas são “práticas que abordam a sustentabilidade ambiental, económica e social nos processos agrícolas e resultam em alimentos e produtos agrícolas não alimentares seguros e de qualidade” (FAO, 2003).

A produção de frutas é considerada um sistema agrícola intensivo em termos de insumos de pesticidas e fertilizantes, bem como de investimentos em capital e materiais (Mouron et al., 2006). De facto, a energia incorporada nas infra-estruturas dos pomares, como redes anti granizo e tubos de irrigação, é superior à de outros sistemas de cultivo (Cerutti et al., 2014).

A utilização de fitofármacos e de fertilizantes de origem sintética é, segundo Pérez et al. (2022) juntamente com o consumo de energias combustíveis e com a gestão de resíduos, são a maior fonte de GEE associados à produção de mirtilos nas Astúrias (Espanha).

Cordes et al. (2016) considera como factor de maior contribuição os fertilizantes orgânicos, seguidos pelo uso de energia nas operações de campo, responsáveis, em média, por 50% e 43% das emissões totais de GEE, respectivamente em produção de mirtilos orgânicos no Chile.

Keyes et al. (2015) descobriram que o uso de combustível, fertilizantes à base de nitrogénio (N) e fósforo (P) e os fatores de produção para o controlo de pragas e doenças em ambos os tipos de pomares, convencionais e no modo de produção biológico (MPB), foram os principais responsáveis por impactes ambientais derivados da produção de maçãs na Nova Escócia (Canadá).

Strik (2016) avaliou a produção em MPB de mirtilos e amoras para os mercados de consumo fresco e processado no noroeste dos Estados Unidos, concluindo que as plantas de mirtilo eram sensíveis à fonte de fertilizante e ao pH do solo relatando que a limpeza do sistema de irrigação por gotejamento e uma boa manutenção eram fundamentais para a eficiência do uso de fertilizantes e da irrigação.

Vários estudos relataram que as emissões de GEE provenientes de vegetais e frutas eram causadas pela produção de fertilizantes, emissões de nitrogénio dos solos após a

aplicação de fertilizantes nitrogenados, consumo de energia e consumo de combustíveis (Girgenti et al., 2013; Cerutti et al., 2014; Ingraio et al., 2015; Keyes et al., 2015; Meier et al., 2015). Os principais impactes ambientais negativos detectados por esses autores foram os fertilizantes orgânicos (de 43% a 56% das contribuições) e o uso de energia para operações de campo (de 35% a 43% das contribuições), como a limpeza ou colheita de frutos.

Girgenti et al. (2013) estudaram o uso de energia não renovável e as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de mirtilos e framboesas na Itália, demonstraram que os impactes mais significativos estavam relacionados ao uso de materiais plásticos em diferentes fases, como irrigação, cobertura do solo (mulching) e coberturas.

Apresentam-se de seguida um conjunto de medidas como, utilização de energias renováveis, optimização do uso de fertilizantes e água de rega, adopção de práticas ecológicas para o controlo de pragas e doenças, diminuição de resíduos de produção e optimização dos procedimentos pós-colheita no intuito de reduzir as emissões, incluindo também medidas complementares que possam promover o sequestro de carbono no solo, nomeadamente com práticas que aumentem os níveis de matéria orgânica do solo e melhoramento na gestão do espaço, com o aproveitamento das bordaduras com espécies que possam também elas contribuir para o sequestro de carbono da atmosfera.

3.1. Melhoria da eficiência no uso de fertilizantes

Como refere grande parte da bibliografia, os fertilizantes estão entre os factores com maior impacto na PC associada à produção de mirtilos, independentemente do sistema produtivo adoptado.

Os fertilizantes azotados, além dos impactes directos que advêm da sua utilização, provocam ainda impactes indirectos devido à dinâmica do azoto no solo com perdas para a atmosfera por volatilização do amónio e/ou para horizontes profundos e lençóis freáticos por lixiviação dos nitratos.

A nutrição correcta das culturas é assim um factor chave para permitir uma produtividade elevada da cultura (esta, influi directamente na UF sendo deste modo também importante na redução da PC, por aumentar o quociente na diluição dos GEE), e o melhoramento estado sanitário das plantas, com impacto na resistência das plantas às pragas e doenças e, consequentemente, potencial diminuição da necessidade em tratamentos fitossanitários.

Assim, adopção de técnicas culturais que promovam o uso eficiente dos fertilizantes, reduzindo as perdas sem afectar a nutrição das plantas, tais como:

- Análises complementares (ex: foliares) para acompanhar o estado nutricional das plantas;
- Utilização de equipamentos para monitorização da solução fertilizante em sistemas de fertirrigação (ex: medidores da condutividade eléctrica (CE));
- Utilização de equipamentos para monitorização da rega (ex: tensiómetros, sensores de humidade, estações meteorológicas, ...), promovendo a eficiência no uso da água, diminuindo o stress hídrico das plantas (tanto por falta de água como por excesso) as perdas de nutrientes por lixiviação ou percolação profunda e diminuindo os encargos energéticos associados aos sistemas de bombagem;
- Favorecer a instalação da cultura de mirtilos em camalhão e utilizando uma cobertura (mulching).

Relativamente a este último ponto, Bryla and Linderman (2007); Bryla et al. (2008); Larco et al. (2013) referem que a plantação de mirtilos em canteiros elevados melhora a drenagem e a aeração do solo, reduzindo assim a incidência de podridão radicular. Larco et al. (2013) acrescenta que esta forma de condução da cultura melhora o crescimento das raízes das plantas de mirtilo.

Strik (2016) refere que em mirtilo, a produção cumulativa por planta (2008–2014) foi, em média, 21% maior em canteiros elevados do que em solo plano. Uma cobertura de solo de polietileno preto e tecido (tela anti ervas) ofereceu o método mais económico de controle de ervas daninhas, em comparação com uma cobertura de composto de resíduos de jardim municipal coberto com serragem ou apenas serragem. A cobertura com manta anti ervas aumentou a produção cumulativa em comparação com as coberturas orgânicas, mas teve pouco efeito sobre a qualidade do fruto. As plantas cultivadas com manta anti ervas apresentaram uma maior relação entre parte aérea e raiz durante o estabelecimento e exigiram a aplicação de mais água de irrigação.

3.2. Redução da necessidade de utilização de fitofármacos

Embora com impactes na PC da produção de mirtilos mais reduzidos, a utilização de fitofármacos deve também ser considerada numa estratégia de redução de impactes ambientais. Dos trabalhos consultados, Pérez et al. (2022) atribui um grande impacto na emissão de GEE na produção de mirtilos em Astúrias (Espanha) à utilização de fitofármacos de síntese. Embora não relevante para o propósito do presente trabalho, a utilização de fitofármacos de síntese acarreta relevantes impactes ambientais

nomeadamente no que diz respeito efeitos adversos nos ecossistemas e na toxicidade humana.

Deste modo, com o intuito de redução da necessidade de aplicação de produtos fitofarmacêuticos de síntese, deverão ser adoptadas estratégias de protecção ecologicamente mais sustentáveis, tais como:

- Promover estratégias de luta cultural como:
 - Manutenção de uma nutrição adequada das plantas, reforçando a sua capacidade de resistência sistémica a pragas e doenças, como atrás referido;
 - Manutenção de um microclima adequado, execução de podas que promovam um bom arejamento da canópia, criando condições desfavoráveis à disseminação de doenças;
 - Melhorar as condições de drenagem do solo, como atrás referido, para diminuição do risco de proliferação de fungos patogénicos;
 - Na aplicação de fitofármacos, reduzir ao máximo os impactes que estes poderão ter sobre a fauna auxiliar (ex: fazer aplicações à noite, com os insectos polinizadores fora do campo);
- Promover estratégias de luta biológica, como a manutenção de bordaduras que sirvam de abrigo a uma comunidade de auxiliares entomológicos que constituam o primeiro nível na luta contra os inimigos da cultura (ex: nos mirtilos, fomentar um equilíbrio biológico de afídios);
- Priorizar estratégias de luta biotécnica como por exemplo capturas em massa de Drosófila (*Drosophila suzukii*) e confusão sexual para a Broca (*Zeuzera pirina*);

Complementariamente, na necessidade de aplicar fitofármacos de síntese, utilizar estratégias de estimativa de risco para auxiliar na tomada de decisão, com o intuito de efectuar essas aplicações apenas em situações onde sejam mesmo imprescindíveis.

3.3. Melhorar a eficiência energética

O consumo de energia é relatado como um dos principais factores de impacto na PC da produção de mirtilos.

O consumo de combustíveis fósseis pelas máquinas agrícolas na execução das operações culturais e no transporte da fruta, é um grande contributo para as emissões de GEE. Estratégias para reduzir este tipo de impactes passam por:

- Redução das operações culturais ao estritamente necessário, como por exemplo no controlo de infestantes, reduzindo o número de operações a alturas críticas como pós poda e período produtivo;
- Utilização de combustíveis com uma maior percentagem de biocombustível.

Relativamente a este último ponto, de acordo com Bessou et al. (2011), comparados aos combustíveis fósseis, a combustão de biocombustíveis pode emitir menos gases de efeito estufa ao longo de seu ciclo de vida, considerando que parte do CO₂ emitido retorna à atmosfera de onde foi fixado inicialmente pela fotossíntese. Segundo o mesmo autor, o principal factor limitante ao desenvolvimento dos biocombustíveis será, em última análise, a disponibilidade de terras. Dada a área de terras disponíveis, a taxa de crescimento populacional e os padrões de consumo, seria possível alcançar até 2030 uma participação global de 10% de biocombustíveis, contribuindo para reduzir as emissões globais de gases de efeito estufa em até 1 GtCO₂ eq·ano⁻¹ (IEA, 2006).

Relativamente à energia eléctrica, utilizada nos sistemas de bombagem e fertilização, câmaras de refrigeração, iluminação entre outros, as estratégias que permitam uma redução do impacto na PC da produção de mirtilos são:

- Optimização dos sistemas de rega e fertirrega, com as vantagens atrás referidas acrescentando-se a diminuição do consumo energético;
- Substituição de lâmpadas para iluminação por outras mais eficientes;
- Instalação de sistemas produtores de energia verde (fotovoltaicos e/ou eólicos) para reduzir ou suprimir as necessidades energéticas.

3.4. Gestão do solo e de resíduos orgânicos

Operações de controlo de infestantes com mobilização do solo deverão ser limitadas ao mínimo. De acordo com as normas do IPCC (2006), a exposição do solo têm um impacto directo na emissão de azoto para a atmosfera, sendo deste modo desaconselhadas. Assim, interessa efectuar operações de controlo de infestantes sem mobilização, promovendo a protecção do solo aos diversos agentes de erodibilidade e promovendo também o aproveitamento da biomassa resultante desse controlo.

Da mesma forma, é desaconselhável o tratamento da biomassa resultante das operações de poda por incineração. Pérez et al. (2022) refere que alto impacto negativo das emissões para a atmosfera causadas pela queima de podas na produção de mirtilos nas Astúrias (Espanha). Refere também que compostagem de 6000 kg de resíduos

vegetais poderia levar a uma redução potencial de 765 g de CO_{2eq} por kg de mirtilo, o que representa uma redução de cerca de 46% na PC do mirtilo.

A Comissão Europeia, no âmbito do Pacto Ecológico Europeu, prioriza outras alternativas de gestão de resíduos em relação à incineração ou disposição em aterros. O plano de acção para a economia circular é um dos principais aspectos deste pacto, com o objectivo de manter o valor dos recursos, reintegrando-os no ciclo de produção ao final de sua utilização (Commission, 2020).

Não existe (quase) nenhum armazenamento definitivo de carbono no solo, pois, a longo prazo, qualquer matéria orgânica (MO) é mineralizada. Os tempos de residência do carbono orgânico no solo, que em média duram algumas dezenas de anos, podem variar de algumas horas a vários milénios. A evolução dos estoques de carbono é determinada pelo equilíbrio entre a entrada de matéria orgânica e a saída de CO₂ (Arrouays D., 2002).

No entanto, a adopção e manutenção de estratégias que permitam um aumento de matéria orgânica do solo conduzem invariavelmente a:

- Disponibilização de nutrientes, a mineralização da matéria orgânica é, por si só, uma fonte de nutrientes, diminuindo as necessidades em fertilizantes de síntese;
- Aumento da eficiência na utilização dos fertilizantes, por aumento do “poder tampão” ou capacidade de o solo armazenar os fertilizantes de síntese aplicados;
- Sequestro de carbono, pois embora com o factor tempo os resíduos orgânicos passem invariavelmente por um caminho de mineralização, ao serem promovidas estratégias que conduzam a um aumento progressivo dos teores de MO do solo, o resultado entre o “input” – adição e “output” – mineralização será sempre positivo. Por outro lado, promovendo uma economia circular dos resíduos orgânicos da exploração, garante-se que os nutrientes libertados na mineralização da MO serão incorporados na biomassa das plantas e/ou das infestantes, entrando neste último caso novamente no ciclo.

Convém então adoptar estratégias para o aumento da matéria orgânica do solo, tais como:

- Aumentando a restituição ao solo de resíduos de culturas e dejectos animais (estrume, etc.);
- Importando MO não agrícola (aplicação de resíduos orgânicos de origem industrial ou urbana).

Localização	Freguesia:		Concelho:	Distrito:	Coordenadas:
	Vreia de Bornes		V.P. Aguiar	Vila Real	41°34'52.29"N; 7°33'34.97"O
Cultura:	Mirtilos			Ano:	2024
Variedades:	Duke; Huron			Produção (kg):	8 145
Condução	N.º de Plantas 7 556	Densidade (m²/pl) 2,25	Distância das plantas na linha (m) 0,75	Largura das Linhas (m) 1,00	Distância Entre Linhas (m) 3,00
	Rega: (n.º de tubos por linha)		2	Tela Anti-ervas: (largura da tela – m)	1,50
Áreas	Total (m²)	Linhas (m²)	Entrelinhas (m²)	Cabeceiras e bordaduras (m²)	Vias de acesso não pavimentadas (m²)
	22 000	5 667	11 333	5 000	

Entre outras actividades e produções agrícolas a Quinta dos Pinheiros dedica-se também à produção de mirtilos (*Vaccinium corymbosum*. L) ao ar livre, produção direccionada para o mercado de consumo em fresco.

Ao ano de 2024, a exploração de mirtilos da Quinta dos Pinheiros compreende três parcelas ou campos, ocupando uma área efectiva de 17 000 m² e onde se encontram instaladas duas variedades produtivas. Em dois desses campos, com uma área total efectiva de 10 000 m² (sem contabilizar cabeceiras, bordaduras e caminhos de acesso), está plantada a variedade Duke, e o outro campo, com cerca de 7 000 m² efectivos, está plantada a variedade Huron.

Os mirtilos encontram-se plantados em linhas, num camalhão com cerca de 0,2m de altura por cerca de 1,0m de largura, com cobertura por mulch sintético (tela anti-ervas), com um compasso de 0,75m entre si na linha e de 3,0m nas entrelinhas. As entrelinhas, têm cerca de 2,0m de largura e são mantidas com uma cobertura vegetal natural permanente (Figura 1). O controlo de infestantes é feito periodicamente por destroçamento com capinadeira, sem recolha dos resíduos orgânicos. Considera-se para os cálculos uma vida útil de 10 anos para a tela anti-ervas.

Tabela 7 – N.º de plantas, variedades e áreas dos três campos de mirtilos da exploração

	N.º de plantas	Variedade	Área de camalhão (m2)	Área entre-linhas (m2)
Campo 1	3013	Duke	2260	4520
Campo 2	1987	Duke	1490	2980
Campo 3	2556	Huron	1917	3834

A rega é feita com um sistema de rega localizada, composto por tubo gotejador com gotejadores integrados, autocompensantes, espaçados 0,33m entre si e com um débito 2,2L/h. Cada camalhão possui duas linhas paralelas de tubo gotejador, uma de cada lado da planta, de modo a uniformizar a distribuição de água, alimentados por por ramal de tubo PEAD com 63mm de diâmetro. Considera-se para o cálculo, uma vida útil dos ramais de 30 anos e do tubo gotejador de 10 anos.

A fertilização é maioritariamente fornecida com a água de rega através de um sistema de injeção de soluções fertilizantes, doseadas com controlo de quantidade, condutividade eléctrica, pH e temperatura. No repouso vegetativo, é aplicado manualmente junto às plantas gesso agrícola principalmente com propósitos sanitários. A cobertura quase total das linhas de mirtilos, torna muito difícil a aplicação de fertilizantes e correctivos por outro meio que não este. Este sistema apresenta a

vantagem de permitir a automatização do processo e uma gestão mais eficiente da fertilização e da rega.

O controlo sanitário das plantas é feito em regime de protecção integrada, sendo que os tratamentos fúngicos são maioritariamente para o controlo da *Botrytis sp.*, que é a “doença chave” na produção de mirtilos e os tratamentos com insecticidas são maioritariamente para o controlo da drosófila, que é a “praga chave” na produção de mirtilos.

Não são utilizados herbicidas na exploração e, não há também registos da utilização de outro tipo de pesticidas (acaricidas, moluscicidas, rodenticidas, ...).

Os dois campos com a variedade “Duke” possuem uma estrutura de protecção contra o granizo e pássaros constituídos por uma rede de cobertura total, que é desenrolada sobre a parcela após a floração e recolhida após o Verão.

Esta infra-estrutura é constituída por uma estrutura de postes de betão armado pré-tensionado, com um sistema cruzado de arame de 3,9mm de diâmetro e cabo de aço de 4mm de diâmetro, que suportam uma rede anti-granizo, com uma malha de 8 x 2,8mm. É esperada uma vida útil de 10 anos para a rede arame e cabos de aço e de 30 anos para os postes.

Tabela 8 – Estruturas instaladas na exploração de mirtilos

		Material	Quantidade	Peso / unidade (kg)	Peso total (kg)
Estrutura anti-granizo	Postes centrais	Cimento	399 ud	40,500	16 159,50
	Postes de cabeceira		168 ud	55,500	9 324,00
	Rede anti-Granizo	Polietileno	14 030,50 m ²	0,025	350,76
	Arame	Aço galvanizado	6 000,00 m	0,100	600,00
	Cabo de Aço – 4mm	Aço galvanizado	1 800,00 m	0,0554	99,72
	Cabo de Aço – 8mm		600,00 m	0,221	132,60
Sistema de rega	Tubo 63mm	PEAD	800,00	0,695	176,80
	Tubo gotejador 16mm	PEBD	11 600,00	0,050	580,00
	Mulch sintético - tela anti-ervas	PEBD	8 700,00 m ²	0,100	870,00

Os mirtilos são uma cultura lenhosa, perene, com uma longevidade produtiva até cerca de 30 anos, e com uma época produtiva por ano, que para as variedades instaladas ocorre entre o início de Junho e meados de Julho. A parcela foi instalada no ano de 2016, pelo que a campanha de 2024 é a sétima campanha produtiva.

Relativamente à produção, o ano de 2024 foi um ano atípico para a produção de mirtilos devido a elevadas quebras nas variedades mais precoces, como é o caso da “Duke”. O frio estival, importantíssimo para a vernalização das plantas de mirtilo e consequente diferenciação floral, apareceu demasiado tarde sendo que, uma grande quantidade de “horas de frio” ($T \leq 7,2^{\circ}\text{C}$) foram somadas após a quebra da dormência nas variedades mais precoces, o que ocasionou uma diminuição na ordem dos 2/3 na produção de fruta na variedade “Duke”. A variedade “Huron”, mais tardia, apresentou perdas muito menores, na ordem inversa da “Duke”, estimadas em cerca de 1/3 da produção esperada. A produção em 2024 foi de 8 145kg de mirtilos vendidos, não se encontrando contabilizadas as perdas e os mirtilos que não foram colhidos por não darem rendimento à colheita.

Os dados referentes à exploração encontram-se resumidos nas tabelas 6, 7 e 8.

4.2. Cálculo da Pegada Carbónica

No caso do presente estudo, os dados referem-se à produção durante o ano 2024 e a ACV será para analisar a PC na produção de mirtilos desse ano.

Além dos dados da exploração apresentados no ponto anterior (tabelas 6, 7 e 8), apresentam-se de seguida os dados primários que caracterizam o aparelho produtivo desta exploração de mirtilos.

Assim, no que diz respeito aos consumos energéticos, apresenta-se na tabela 9 os consumos de gasóleo agrícola para a execução das operações culturais. Relativamente à energia eléctrica, não são apresentados consumos pois a propriedade não possui contadores exclusivos à exploração de mirtilos, pelo que não há dados que permitam incluir este factor para o cálculo da PC.

Tabela 9 – Gasóleo agrícola utilizado nas operações culturais em 2024

	Operação Cultural	Quantidade consumida	Unidade
Gasóleo Verde	Pulverizações	89,00	L
	Controlo de infestantes	94,00	L
	Outros	25,00	L

O consumo de pesticidas e fertilizantes encontra-se resumido na tabela 10.

Para os fitofármacos, apresentam-se os dados de quantidade de produto aplicado (kg ou L) e massa (kg) de substância activa (s.a.) utilizada. Para o cálculo da PC utilizam-

se as quantidades em massa (kg) de s.a. utilizada, de acordo com os FE calculados no SimaPro (2024).

Para os fertilizantes, de acordo com a mesma fonte, utiliza-se a quantidade em massa do produto fertilizante utilizado, correspondendo os FE calculados aos nutrientes presentes na formulação.

Tabela 10 - Pesticidas e fertilizantes utilizados na exploração em 2024

	Produto	Denominação	Quantidade aplicada	Unidade	s.a. no produto	s.a. total (kg)
Pesticidas		Karate	0,1375	L	0,1 kg/L	0,01375
	- Inseticidas	Delegate	0,3600	kg	25% (p/p)	0,0900
		Spintor	0,0600	L	0,48 kg/L	0,0288
	- Fungicidas	Teldor	3,0000	kg	50% (p/p)	1,5000
Fertilizantes	- Fosfato Monopotássico	MKP	90,00		kg	
	- Nitrato de Cálcio	Calcinit	540,00		kg	
	- Nitrato de Amónio		14,00		kg	
	- Nitrato de Potássio		20,00		kg	
	- Sulfato de Amónio		50,00		kg	
	- Sulfato de Magnésio	MgS	240,00		kg	
	- Sulfato de Potássio	SOP	155,00		kg	

Encontram-se na tabela 11 os dados referentes aos materiais utilizados para a colheita. Para as caixas de colheita, de PVC, e utilizadas uma vez por campanha, estima-se para o cálculo que tenham um tempo de vida nunca inferior a 10 anos, excluindo um ou outro caso pontual. Na exploração, as mesmas caixas já realizaram a sétima campanha e ainda mantém um estado de conservação muito elevado. Na mesma tabela apresenta-se o consumo em caixas de cartão canelado durante a campanha de mirtilos de 2024. Estas caixas são utilizadas no processamento pós colheita dos mirtilos, no seu embalamento para expedição para o entreposto. É utilizada uma caixa para cada 3,0 kg de mirtilos vendidos estando deste modo o consumo deste item directamente relacionado com a produção.

Tabela 11 – Materiais de colheita e embalamento usados na exploração na campanha de 2024

	Produto	Material	Unidades utilizadas	Peso / unidade	Peso total (kg)
Materiais de Colheita	Caixas	PVC	250	0,580	145,00
	Carrinhos	Ferro	25	12,000	300,00
	Caixas de Cartão ondulado	Cartão	2 715	0,232	629,88

Não se apresentam resultados relativamente aos resíduos indiferenciados e embalagens de fitofármacos entregues à ValorFito porque, no primeiro caso, não foi feito na exploração um registo de quantidades produzidas de resíduos, pelo que não existem dados destas entradas para o cálculo da PC. No segundo caso, como no decorrer do ano de 2024 a exploração não fez entregas de embalagens vazias de fitofármacos, não há também qualquer quantidade que possa entrar para os cálculos da PC. Existe neste segundo caso, controlo e registo, só que não foram utilizadas quantidades de fitofármacos na exploração que justificassem uma entrega durante a campanha do ano de 2024.

Os resíduos de origem orgânica associados à produção, são “devolvidos” ao solo dentro da própria exploração numa estratégia de promoção do sequestro de carbono por aumento do teor de MO do solo.

Para determinação da biomassa, em kg de matéria verde, que resultou após as operações de controlo de infestantes nas linhas e cabeceiras, foi recolhida e posteriormente pesada a biomassa, após cada passagem, de 5 talhões previamente seleccionados e devidamente identificados, com uma área de 10 m² cada, distribuídos pela exploração com o objectivo de a poderem representar fielmente (tabela 12).

Como a recolha e as pesagens da biomassa resultante do controlo de infestantes foram feitas após a operação cultural, ou seja, sem secagem, no cálculo da PC será utilizada uma percentagem de 15% dos valores pesados, considerando que em média, entre 75% e 95% da massa em verde das plantas é água (Georgia; University).

Tabela 12 – Biomassa, em kg de matéria verde resultante do controlo de infestantes na entrelinha, obtidos em 5 talhões amostrais representativos da parcela experimental, durante um ciclo cultural

Talhão	1ª passagem com destroçador	2ª passagem com destroçador	3ª passagem com destroçador
1	3,8	2,4	2,9
2	4,0	2,8	3,0
3	4,8	4,3	4,7
4	5,4	4,9	5,3
5	4,9	4,0	4,4
Total	22,8	18,4	20,1

Da mesma maneira se procedeu para determinar a biomassa em kg de folhas e de ramos de poda. Foram seleccionadas e devidamente identificadas 10 plantas, tentando representar, em variedade, tamanho e vigor, o conjunto das plantas da exploração. Essas plantas foram seleccionadas e marcadas no Inverno de 2023, quando se

procedeu à recolha e pesagem das folhas e, durante as operações de poda executadas entre Janeiro e Fevereiro de 2024, os ramos podados dessas mesmas plantas foram recolhidos e pesados. Os resultados dessas pesagens são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Biomassa, em kg de matéria verde, das folhas e ramos resultantes da poda recolhidos em 10 arbustos representativos da parcela experimental, durante um ciclo cultural

Arbusto	Biomassa das folhas (kg)	Biomassa da poda (kg)	Biomassa total (folhas e poda) (kg)
1	0,022	0,050	0,072
2	0,054	0,127	0,181
3	0,087	0,212	0,299
4	0,063	0,148	0,211
5	0,119	0,257	0,376
6	0,108	0,203	0,311
7	0,148	0,324	0,472
8	0,127	0,293	0,420
9	0,246	0,520	0,766
10	0,351	0,740	1,091
Total (kg)	1,325	2,874	4,199

Considerando uma área de entrelinhas e cabeceiras com 16 333 m² e que a exploração tem um total de 7 556 plantas de mirtilo, resumem-se na tabela 14 a biomassa total estimada a partir dos resultados amostrados.

Tabela 14 – kg de biomassa total em verde, em kg de matéria verde resultante do controlo de infestantes, folhas e podas das plantas

Origem	Biomassa (kg)
Folhas	1 001,17
Podas	2 171,59
Controlo de Infestantes	20 041,60

Depois dos dados recolhidos e organizados, determina-se a PC da exploração de mirtilos.

Na figura 4 aparecem os resultados obtidos do cálculo da PC da exploração. Apresentam-se os resultados em emissões de GEE em PAG de cada uma das entradas do ICV com a sua correspondente percentagem no impacto sobre as emissões totais e os resultados do sequestro de carbono em resultado da gestão da MO efectuada na exploração.

PEGADA CARBÓNICA 2024		PC (g CO2eq/Kg mirtilos)= 264		
EMISSIONES				
Produção (2024) = 8 145,00		GEE/UT	Emissões	% das
Entradas		(Kg CO2eq)	((GEE/UT)/UF)	emissões
			(Kg CO2eq)	
Infra estruturas			0,1769	30,48
Proteção anti granizo			0,1412	24,33
Postes		679,5600	0,0834	14,38
Rede		37,5313	0,0046	0,79
Arames e cabos		432,8064	0,0531	9,16
Sistema de rega			0,0147	2,54
Tubos PEAD		6,3648	0,0008	0,13
Tubos PEBD		113,6800	0,0140	2,41
Cobertura do solo			0,0209	3,61
Tela PEBD		170,5200	0,0209	3,61
Energia				10,12
Gasóleo agrícola		478,4000	0,0587	10,12
Factores de produção				51,07
Fitofármacos				1,04
Insecticidas		3,9765	0,0005	0,08
Fungicidas		45,0000	0,0055	0,95
Fertilizantes				41,15
Fosfato monopotássico		89,1000	0,0109	1,89
Nitrato de cálcio		891,0000	0,1094	18,85
Nitrato de amónio		67,6200	0,0083	1,43
Nitrato de potássio		260,0000	0,0319	5,50
Sulfato de amónio		281,5000	0,0346	5,96
Sulfato de magnésio		48,7200	0,0060	1,03
Sulfato de potássio		306,9000	0,0377	6,49
Azoto libertado após aplicação de fertilizantes azotados				8,89
Quantidade de N aplicada		420,0099	0,0516	8,89
Materiais de colheita				1,13
Caixas PVC		37,5550	0,0046	0,79
Carrinhos Ferro		15,8000	0,0019	0,33
Materiais de embalagem				7,20
Caixas Cartão		340,1352	0,0418	7,20
TOTAL:		4 726,1791	0,5803	100
SEQUESTROS				
% MO 2023 = 3,06		Carbono/UT	Sequestros	% dos
% MO 2024 = 3,41				
Massa do Solo (Kg) = 2 040,12		(Kg CO2eq)	(Kg CO2eq)	
Gestão de Resíduos Orgânicos				99,41
Lenha de poda		656,4535	0,0806	25,44
Folhas e Resíduos resultantes do controlo de infestantes		1 908,3161	0,2343	73,97
Variação da MO no solo		15,1748	0,0019	0,59
TOTAL:		2 579,9445	0,3168	100

Figura 4 – Cálculo da PC da exploração de mirtilos

4.3. Interpretação dos resultados

Após o cálculo dos impactos, efectua-se a última parte do método ACV, que compreende a fundamental interpretação dos resultados obtidos, combinando as descobertas para retirar conclusões e produzir recomendações para minimizar impactes gerados no decurso do desenvolvimento da actividade.

Numa primeira parte do ICV, o cálculo da pegada passa por contabilizar todas as operações que têm um contributo negativo na PC, ou seja, que contribuem para a emissão de CO₂eq. Na segunda parte do ICV, o cálculo da pegada passa por considerar as operações que promovem o sequestro de carbono, ou seja, que contribuem para a diminuição da PC da exploração.

Após o cálculo, com os impactes que puderam ser avaliados, verificou-se a emissão 0,5803 kg CO₂eq por kg de mirtilos produzidos em 2024 e um sequestro de 0,3168 kg CO₂eq por kg de mirtilos produzidos em 2024, o que se traduz num valor de PC por kg de mirtilos produzido na exploração durante o ano de 2024 de 0,2640 kg CO₂eq, o que traduz um desempenho positivo em comparação com os valores médios que a literatura apresenta para sistemas de produção de mirtilos e realçando o facto de 2024 ter sido um ano de muito baixa produtividade.

A maioria dos valores de PC relatados na literatura para bagas está entre 0,20 e 0,80 kg CO₂eq. por kg de fruto (Schein, 2013; Cordes et al., 2016). Nos estudos realizados no Chile Cordes et al. (2016); Rebolledo-Leiva et al. (2017) constataram que a PC dos mirtilos variou de 0,23 a 1,22 kg CO₂eq, embora (Cordes et al., 2016) refira que estes valores poderiam ser significativamente melhorados implementando técnicas culturais para de alteração do uso que promova a cobertura permanente do solo. O autor relata que ao considerar a alteração do uso de solo, a CF da produção orgânica de mirtilo nos pomares estudados varia de remoções (relatadas como valor negativo) de -0,94 até emissões de 0,61 kg CO₂-e/kg de mirtilo, semelhantes aos resultados que foram obtidos neste cálculo.

Nas Astúrias, Pérez et al. (2022) apresenta resultados entre 0,32 e 1,66 kg CO₂eq enquanto Venkat (2012) indicou, utilizando dados públicos de produção agrícola, emissões de 0,72 kg CO₂eq por kg de fruto para mirtilos orgânicos cultivados na Califórnia, EUA. Percival and Dias (2012) no seu estudo sobre consumo de energia e emissões de GEE na produção de mirtilos selvagens nos EUA, encontraram emissões que variavam de 0,08 a 0,24 kg CO₂eq por kg colhido, dependendo da inclusão ou

exclusão de práticas de manejo com alta intensidade energética, como queimadores a óleo e sistemas de rega suplementar movidos a diesel.

De seguida faz-se a interpretação dos resultados da PC da exploração, analisando cada entrada do ICV e, seguindo o método da ACV, propondo sempre que possível, medidas que permitam a redução das emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ e, consequentemente, a redução do impacto da actividade na PC.

4.3.1. Infra-Estruturas

Verifica-se que as infra-estruturas têm também um grande peso na PC, representando 30,48% do total das emissões de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ da exploração, com o maior contributo a dever-se à estrutura de protecção anti granizo, pela grande quantidade de materiais utilizados, principalmente nos postes e sistema de suporte da rede (arames e cabos de aço), com um contributo de 14,38% e 9,16% respectivamente.

Estes impactes são fixos, independentes dos procedimentos culturais empregues para a produção de mirtilos e absolutamente necessários para a protecção da cultura, principalmente numa altura em que a imprevisibilidade climática e a proliferação de eventos climáticos extremos se apresentam cada vez mais frequentes no quotidiano agrícola.

As infra-estruturas de rega e a cobertura do solo com tela anti ervas têm um contributo mais modesto para a PC da exploração com, respetivamente, 2,54% e 3,51% do total das emissões.

Não se podendo abdicar das infra-estruturas de protecção e de rega para a produção de mirtilos de qualidade e consequente rentabilidade da produção, não há qualquer medida directa que se possa introduzir para reduzir o impacto destas infra-estruturas na PC. O impacto reduzido na PC associado ao aumento dos custos com o controlo de infestantes na linha e detioração das condições do solo (temperatura e humidade) para as plantas (Strik, 2016) juntamente com o potencial aumento do consumo de combustível para o controlo de infestantes desaconselham a alteração deste método de controlo de infestantes na linha. Segundo Strik (2016), o uso de manta para controlo de ervas daninhas tornou-se muito comum em campos de mirtilos orgânicos e convencionais no noroeste do Pacífico dos Estados Unidos, reduzindo assim os custos com herbicidas e mondas manuais.

4.3.2. Energia

A energia corresponde à segunda entrada no ICV para o cálculo da PC da exploração.

Por falta de dados, não foi considerado o contributo da energia eléctrica para a determinação da PC, energia utilizada na parte produtiva, maioritariamente no sistema de rega para bombagem de água e doseamento de fertilizantes e no processamento pós colheita, principalmente para alimentação da câmara de refrigeração e em utilizações menores, como em iluminação e pequenos aparelhos eléctricos como por exemplo as balanças para pesagem da fruta.

Cordes et al. (2016); Pérez et al. (2022) relatam grande impacto da utilização dos combustíveis fósseis na PC da produção de mirtilos no Chile e nas Astúrias, por outro lado o impacto da energia eléctrica não aparece referido como ponto crítico na PC da produção de mirtilos.

Neste trabalho, o consumo de gasóleo agrícola para a realização de operações culturais aparece como terceiro maior factor de impacto, representando 10,12% do total das emissões da exploração. As operações para o controlo de infestantes na entrelinha e cabeceiras e as pulverizações são as grandes responsáveis para o consumo de gasóleo agrícola.

Como anteriormente referido, utilização de combustíveis com uma maior percentagem de biodiesel, poderá ser uma medida para diminuir indirectamente o impacto em emissões de CO_{2eq}, com utilização de um produto com um FE mais baixo.

Implementação de medidas mais directas, com redução dos consumos por redução das operações culturais, é sempre mais difícil pois, tanto a necessidade de controlo de infestantes como de pulverizações dependem muito das condições climáticas, fugindo deste modo do controlo do decisor.

4.3.3. Factores de produção

O uso de fitofármacos e fertilizantes são o maior contributo para a PC, representando em conjunto 51,07% das emissões de CO_{2eq} na produção de mirtilos na exploração. No entanto, verifica-se que a PC associada à aplicação de fitofármacos é quase insignificante (1,04%) quando relacionada com o total de emissões, sendo mesmo a entrada do ICV com menor contributo em emissões de CO_{2eq}.

Como o controlo de pragas e doenças é de extrema importância na manutenção de níveis de produtividade e qualidade altos, não se verifica a necessidade de aplicar medidas para melhorar a eficiência de utilização de fitofármacos no que diz respeito à PC na produção de mirtilos da exploração.

Em oposição, os 50,04% da PC da exploração devidos á utilização de fertilizantes, é o maior factor de impacto nas emissões de CO_{2eq} da exploração.

Este resultado aparece alinhado com o verificado por Pérez et al. (2022) e Cordes et al. (2016), que colocam os fertilizantes como a maior fonte de impacto na PC da produção de mirtilos.

Medidas indirectas na utilização dos fertilizantes que visem aumentar a eficiência na aplicação e utilização dos fertilizantes, como o controlo regular do estado nutricional das plantas através da realização de análises foliares periódicas deverão ser tidas em consideração, bem como fazer um planeamento da fertilização com preferência por utilização de fertilizantes que tenham um menor FE.

Outra medida será implementar um sistema de controlo da humidade do solo, com utilização de sensores de humidade associados ao sistema de automatização, para gerir eficientemente a rega, impedindo situações de excesso de água que possam provocar perdas por percolação profunda de nutrientes para fora do sistema radicular dos mirtilos.

Na exploração já se encontram implementadas medidas para controlo do doseamento da solução fertilizante, como o controlo da CE e do pH da solução, para otimizar a aplicação de fertilizantes.

4.3.4. Equipamentos de colheita e materiais de embalagem

Os materiais utilizados para a colheita dos mirtilos, as caixas e os carrinhos têm, em conjunto, um contributo pequeno na PC da exploração, com 1,13% do total das emissões de CO_{2eq}. Estes equipamentos já se encontram na exploração pelo que, serão considerados no cálculo da PC durante a sua vida útil, mesmo que o procedimento de colheita fosse alterado e estes equipamentos deixassem de ser utilizados.

Por outro lado, o impacto na PC da exploração que resulta da utilização de caixas de cartão no embalamento para entrega dos mirtilos é relevante (7,2% das emissões de CO_{2eq}), sendo o quarto maior factor de impacto verificado. A utilização de material de embalamento está directamente associada à produção, pelo que a implementação de medidas que façam aumentar os índices de produtividade e rendimento não faz “diluir” o impacto da PC.

Utilização de materiais com FE mais baixos seria uma forma de poder reduzir este impacto.

4.3.5. Gestão de resíduos orgânicos

A gestão dos resíduos orgânicos efectuada na exploração, permite promover a captação de carbono, devido ao aumento do teor de MO no solo. O contributo dos restos de ramos podados, folhas das plantas e biomassa que resulta do controlo das infestantes nas linhas e cabeceiras contribuíram na PC com - 0,3941 kg de CO_{2eq} por kg de mirtilos produzidos durante o ano de 2024.

Esta contribuição, é variável e depende grandemente das condições meteorológicas que se verificam durante o ano. O ano de 2024 foi um ano bastante húmido, o que levou a um grande desenvolvimento das infestantes nas linhas o que, por um lado implicou no gasto energético necessário para o seu controlo, mas por outro influenciou na grande quantidade de biomassa produzida.

A manutenção destas práticas culturais no controlo de infestantes implica temporalmente no aumento da MO do solo nas entrelinhas e cabeceiras e, consequentemente, no aumento da fertilidade do solo o que origina melhores condições para o desenvolvimento da vegetação. Assim, embora condicionada às condições climáticas, tendencialmente o solo das linhas e entrelinhas será mais fértil, logo o potencial de produção de biomassa será igualmente superior.

De realçar que, só foi considerado o contributo da MO para o sequestro de carbono. Neste trabalho não foi contabilizado o contributo do sequestro de carbono nas partes lenhosas dos arbustos por falta de dados e, ao se tratar de um arbusto com uma condução multicaule, torna mais difícil a estimativa do volume de “lenha” produzido por ano. No entanto, uma avaliação deste sequestro, poderá ser uma medida para diminuir a PC da exploração.

4.3.6. Variação da MO do solo

Nas linhas de plantação, com estratégias culturais e de fertilização que têm sido fomentadas, verifica-se a alteração do teor de MO do solo. Esta variação, no ano de 2024 e com o aumento do teor de MO em relação a 2023, contribuiu na PC com - 0,0019 kg de CO_{2eq} por kg de mirtilos.

Embora com uma contribuição residual para a PC relativamente à verificada na gestão da biomassa, o aumento no teor de MO do solo tem uma influência benéfica na fertilidade e resistência a pragas e doenças, contribuindo para o aumento da produtividade e, por esta via, com contribuição indirecta na redução da PC.

Medidas para aumentar a MO do solo na linha, como aplicação de correctivos e fertilizantes com alto teor em MO, servem para melhorar a fertilidade do solo, promover uma melhor utilização dos fertilizantes, contribuindo para a redução da PC.

4.4. Outras medidas para aumentar o sequestro de carbono

Além das medidas que foram apresentadas no decorrer da interpretação do ICV, outras medidas poderão ser adoptadas para reduzir a PC e/ou promover o sequestro.

Nesta avaliação, não foi considerado o impacto da energia eléctrica devido à impossibilidade de obter registos do consumo da exploração.

Convém referir que, como mencionado anteriormente no capítulo 3, a produção de energias renováveis, com recurso a painéis ou torres eólicas, poderá ser uma mais-valia na independência energética, podendo ser uma boa medida na necessidade de redução da PC da exploração, além de outras vantagens, mas fora do âmbito deste trabalho.

Outra medida para promover o sequestro seria a plantação de árvores nas bordaduras. Desde que não tenham consequências no ensombramento da plantação, árvores nas bordaduras além de contribuírem para o sequestro de carbono, servem como sebe de protecção contra os ventos e abrigo de auxiliares, com vantagens indirectas na protecção e na sanidade das plantas.

Conclusão

Cada vez mais será necessário, na produção agrícola, ter uma grande consciência ecológica, que nos permita produzir alimentos de qualidade e com impactes mínimos no ambiente.

Os mercados têm uma exigência cada vez maiores na forma como se produz e no respeito que a produção tem com a preservação da natureza. Neste sentido, a avaliação da PC na produção de mirtilos torna-se uma ferramenta imprescindível para os produtores avaliarem a qualidade do seu processo produtivo e poderem verificar os pontos onde poderão actuar no intuito de otimizar o seu processo, produzindo melhor com menor impacto ambiental.

A PC calculada neste trabalho por ACV da exploração de mirtilos localizada na Quinta dos Pinheiros em Vila Pouca de Aguiar foi 264 g CO₂eq por kg de mirtilos produzidos em 2024, valor positivo relativamente aos resultados apresentados pela literatura consultada. No entanto, para este cálculo não foram contabilizados os impactes relativos ao consumo de energia eléctrica nem relativos à produção de detritos indiferenciados por falta de dados. Por outro lado, não foi também contabilizado o contributo do material lenhoso das plantas de mirtilo para o sequestro de carbono.

Os maiores impactes na PC deveram-se à aplicação de fertilizantes, responsáveis por cerca de 50% das emissões totais seguido da estrutura de protecção anti granizo, com cerca de 25% das emissões totais de GEE, seguidos pelo consumo de combustíveis fósseis, com cerca de 10% de impacto no total das emissões de GEE

Por outro lado, verificou-se que a utilização de fitofármacos teve um impacto residual, pouco mais de 1% do total das emissões de GEE.

Para minimizar os impactes na PC, não podendo actuar sobre as infra-estruturas, torna-se importante a adopção de medidas que aumentem a eficiência do uso de fertilizantes e que promovam o aumento da produtividade das plantas (e deste modo aumentar o quociente que permita “diluir” os impactes). A utilização de combustíveis com maior quantidade de biodiesel poderá ser uma boa medida para diminuir o impacto dos combustíveis na PC, desde que o mercado apresente essa solução.

A adopção de medidas para promover o sequestro de carbono, como o aproveitamento das bordaduras para plantação de árvores e para a independência relativamente às necessidades de electricidade, como a instalação de sistemas fotovoltaicos, poderão ser importantes para a redução da PC na exploração.

Na necessidade da prática de uma agricultura sustentável, nas suas vertentes económica, ecológica e social, torna-se imprescindível melhorar os processos e modernizar a agricultura preparando-a para as expectativas de um futuro que é cada vez mais presente.

Referências Bibliográficas

- Adebah EC, Langeveld C, Kermah M** (2010) Environmental impact of organic pineapple production in Ghana: a comparison of two farms using Life Cycle Assessment (LCA) approach. *In* VII International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-food Sector, Bari, Italy. Università degli Studi di Bari Aldo Moro, pp 325-330
- ADEME** (2010) La méthode Bilan Carbone®. Agence de L'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. *In*,
- Aguilera E, Lassaletta L, Gattinger A, Gimeno BS** (2013) Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **168**: 25-36
- Aguilera E, Lassaletta L, Sanz-Cobena A, Garnier J, Vallejo A** (2013) The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture Ecosystems & Environment* **164**: 32-52
- Arrouays D. BJ, Germon J.C., Jayet P.A., Soussana J.F., Stengel P.** (2002) Mitigation of the greenhouse effect Increasing carbon stocks in French agricultural soils? Scientific Assessment Unit for Expertise, Synthesis of an Assessment Report by the French Institute for Agriculture Research (INRA) on request of the French Ministry for Ecology and Sustainable Development.
- Bessou C, Ferchaud F, Gabrielle B, Mary B** (2011) Biofuels, greenhouse gases and climate change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **31**: 1-79
- Bryla DR, Linderman RG** (2007) Implications of irrigation method and amount of water application on Phytophthora and Pythium infection and severity of root rot in highbush blueberry. *HortScience* **42**: 1463-1467
- Bryla DR, Linderman RG, Yang WQ** (2008) Incidence of Phytophthora and Pythium infection and the relation to cultural conditions in commercial blueberry fields. *HortScience* **43**: 260-263
- BSI P** (2011) 2050-Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. 2011. BSI: bsigroup.com
- Cellura M, Ardente F, Longo S** (2012) From the LCA of food products to the environmental assessment of protected crops districts: A case-study in the south of Italy. *Journal of Environmental Management* **93**: 194-208
- Cerutti AK, Bagliani MM, Beccaro GL, Peano C, Bounous G** (2010) Comparison of LCA and EFA for the environmental account of fruit production systems: a case study in Northern Italy. *In* Proceeding of the VII International Conference on Food LCA, Vol 2. Università di Bari, pp 99-105
- Cerutti AK, Beccaro GL, Bruun S, Bosco S, Donno D, Notarnicola B, Bounous G** (2014) Life cycle assessment application in the fruit sector: State of the art and recommendations for environmental declarations of fruit products. *Journal of Cleaner Production* **73**: 125-135
- Cerutti AK, Galizia D, Bruun S, Mellano GM, Beccaro GL, Bounous G** (2011) Assessing environmental sustainability of different apple supply chains in Northern Italy. *In* Towards life cycle sustainability management. Springer, pp 341-348
- Commission E** (2020) Circular economy action plan. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/539-circular-economy-action-plan_en **540**

- Conchedda G, Tubiello FN, Obli-Laryea G** (2023) Agrifood systems and land-related emissions. Global, regional and country trends, 2001-2021. *In* FAOSTAT Analytical Brief, Vol 73, Rome
- Cordes H, Iriarte A, Villalobos P** (2016) Evaluating the carbon footprint of Chilean organic blueberry production. *International Journal of Life Cycle Assessment* **21**: 281-292
- FAO** (2003) Development of a Framework for Good Agricultural Practices, COAG/2003/6. *In*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome
- FAO** (2009) Global Agriculture towards 2050. How to Feed World 2050,
- FioDourado L** (2016) Declaração Ambiental. *In*, <http://fiodourado.pt/wp-content/uploads/DeclaracaoAmbientalFioDourado2atualizacao.pdf>
- Georgia Uo** Sources of Water for the Garden. *In*, <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1027-11&title=sources-of-water-for-the-garden>
- Girgenti V, Peano C, Bounous M, Baudino C** (2013) A life cycle assessment of non-renewable energy use and greenhouse gas emissions associated with blueberry and raspberry production in northern Italy. *Science of the Total Environment* **458**: 414-418
- IEA** (2006) World Energy Outlook 2006, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2006>
- Ingrao C, Matarazzo A, Tricase C, Clasadonte MT, Huisingh D** (2015) Life Cycle Assessment for highlighting environmental hotspots in Sicilian peach production systems. *Journal of Cleaner Production* **92**: 109-120
- IPCC** (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- ISO I** (2006) 14040. Environmental management—life cycle assessment—principles and framework **578**: 235-248
- ISO TC** (2006) ISO 14040:2006. *In*, Vol 2023, <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- Karwacka M, Ciurzynska A, Lenart A, Janowicz M** (2020) Sustainable Development in the Agri-Food Sector in Terms of the Carbon Footprint: A Review. *Sustainability* **12**
- Keyes S, Tyedmers P, Beazley K** (2015) Evaluating the environmental impacts of conventional and organic apple production in Nova Scotia, Canada, through life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* **104**: 40-51
- Kroodsma DA, Field CB** (2006) Carbon sequestration in California agriculture, 1980-2000. *Ecological Applications* **16**: 1975-1985
- Lal R** (2004) Carbon emission from farm operations. *Environment International* **30**: 981-990
- Larco H, Strik BC, Bryla DR, Sullivan DM** (2013) Mulch and fertilizer management practices for organic production of highbush blueberry. I: Plant growth and allocation of biomass during establishment. *HortScience* **48**: 1250-1261
- LEAF LEAF.** *In*, <https://leaf.eco>
- Lee H, Romero J** (2023) Climate Change 2023: Synthesis Report. *In* Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp 1-34
- Longo S, Mistretta M, Guarino F, Cellura M** (2017) Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. *Journal of Cleaner Production* **140**: 654-663
- MacCarthy J, Mullen P, Passant N, Richmond B, Thistlethwaite G, Thomson A, Wakeling D, Willis D** (2023) UK Greenhouse Gas Inventory, 1990 to 2021.
- Meier MS, Stoessel F, Jungbluth N, Juraske R, Schader C, Stolze M** (2015) Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the

- differences captured by life cycle assessment? *Journal of environmental management* **149**: 193-208
- Mouron P, Heijne B, Naef A, Strassemeyer J, Hayer F, Avilla J, Alaphilippe A, Höhn H, Hernandez J, Mack G, Gaillard G, Solé J, Sauphanor B, Patocchi A, Samietz J, Bravin E, Lavigne C, Bohanec M, Golla B, Scheer C, Aubert U, Bigler F** (2012) Sustainability assessment of crop protection systems: SustainOS methodology and its application for apple orchards. *Agricultural Systems* **113**: 1-15
- Mouron P, Scholz RW, Nemecek T, Weber O** (2006) Life cycle management on Swiss fruit farms: Relating environmental and income indicators for apple-growing. *Ecological Economics* **58**: 561-578
- Nair PKR** (2011) Methodological Challenges in Estimating Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems.
- OIV** (2017) OIV StatiStical report on World VitiViniculture, <https://www.oiv.int/public/medias/5479/oiv-en-bilan-2017.pdf>
- Onat NC, Kucukvar M, Tatari O** (2014) Integrating triple bottom line input-output analysis into life cycle sustainability assessment framework: the case for US buildings. *International Journal of Life Cycle Assessment* **19**: 1488-1505
- P.R. Porceddu LR, M. Dionigi.** (2010) *Journal of Agricultural Engineering*
- Percival D, Dias G** (2012) Energy Consumption and Greenhouse Gas Production in Wild Blueberry Production. *In* 10th International Symposium on Vaccinium and Other Superfruits, Vol 1017, Maastricht, NETHERLANDS, pp 163-168
- Pérez R, Laca A, Laca A, Díaz M** (2022) Environmental behaviour of blueberry production at small-scale in Northern Spain and improvement opportunities. *Journal of Cleaner Production* **339**
- Pow PKC, Black TA, Jassal RS, Nesic Z, Johnson M, Smukler S, Krzic M** (2020) Greenhouse gas exchange over a conventionally managed highbush blueberry field in the Lower Fraser Valley in British Columbia, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology* **295**
- PROTOCOL GG** (2024) Calculation Tools and Guidance. *In*, Vol 2024, <https://ghgprotocol.org/calculation-tools-and-guidance>
- Rebolledo-Leiva R, Angulo-Meza L, Iriarte A, González-Araya MC** (2017) Joint carbon footprint assessment and data envelopment analysis for the reduction of greenhouse gas emissions in agriculture production. *Science of the Total Environment* **593**: 36-46
- Roy P, Nei D, Orikasa T, Xu QY, Okadome H, Nakamura N, Shiina T** (2009) A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. *Journal of Food Engineering* **90**: 1-10
- Santos JQd** (2001) Fertilização & Ambiente - reciclagem Agro-Florestal de Resíduos e Efluentes. Publicações Europa América - colecção Euroagro
- Schau EM, Fet AM** (2008) LCA studies of food products as background for environmental product declarations. *International Journal of Life Cycle Assessment* **13**: 255-264
- Schein L** (2013) Análisis de Ciclo de Vida Simplificado, Huella de Carbono, para la producción anual de arándano, sobre estudio de caso. Universidad Nacional de Luján
- Shepherd M, Pearce B, Cormack B, Philipps L, Cuttle S, Bhogal A, Costigan P, Unwin R** (2003) An assessment of the environmental impacts of organic farming.
- SimaPro** (2024) Agri-footprint database. *In*, <https://simapro.com/>
- Strik BC** (2016) A review of optimal systems for organic production of blueberry and blackberry for fresh and processed markets in the northwestern United States. *Scientia Horticulturae* **208**: 92-103
- Toensmeier E** (2016) *The Carbon Farming Solution*. Chelsea Green Publishing.
- Trust C** (2007) Carbon footprint measurement methodology. *Carbon Trust* **1**: 27-34

- University AS** Ask a Biologist. In, <https://askabiologist.asu.edu/recipe-plant-growth>
- Venkat K** (2012) Comparison of Twelve Organic and Conventional Farming Systems: A Life Cycle Greenhouse Gas Emissions Perspective. *Journal of Sustainable Agriculture* **36**: 620-649
- Wbcsd W** (2004) The greenhouse gas protocol. A corporate accounting and reporting standard, Rev. ed. Washington, DC, Conches-Geneva