

Universidade do Minho

Escola de Ciências

Bruna Pereira Gonçalves

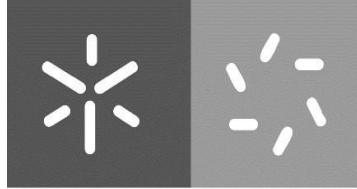
Aplicação de métricas agroecológicas em agroecossistemas de vinha

Aplicação de métricas agroecológicas em agroecossistemas de vinha

Bruna Pereira Gonçalves

UMinho | 2021

dezembro de 2021



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Bruna Pereira Gonçalves

**Aplicação de métricas agroecológicas em
agroecossistemas de vinha**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Ecologia

Trabalho efetuado sob a orientação da

Doutora Sofia dos Santos da Rocha Costa E
da **Professora Doutora Maria Cláudia**
Gonçalves da Cunha Pascoal

dezembro de 2021

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-SemDerivações

CC BY-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Agradecimentos

Este trabalho insere-se no projeto AgriFood XXI, ref. NORTE-01-0145-FEDER-000041, co-financed by the European Regional Development Fund (FEDER), through NORTE 2020 (Northern Regional Operational Program 2014/2).

À minha orientadora Doutora Sofia dos Santos da Rocha Costa agradeço por toda a ajuda e contribuição na elaboração desta tese. Pela disponibilidade total e simpatia que demonstrou quando necessitei de auxílio, amplificando o meu pensamento científico e pavimentando o caminho que me leva a ser ecóloga. Agradeço igualmente à minha co-orientadora a Professora Doutora Maria Cláudia Gonçalves da Cunha Pascoal pelo apoio, pela motivação e pelas ideias e conselhos que me deu durante a elaboração da tese.

À Sogrape S.A., em especial ao Dr. António Graça e à Doutora Natacha Fontes que se mostraram disponíveis sempre e que nos forneceram informações valiosas sem as quais não seria possível realizar este trabalho. Agradeço também aos trabalhadores da Quinta do Seixo, Engenheira Carla Guerra e Engenheiro José Manso que nos ajudaram a organizar o nosso trabalho de campo, mas que nem seria possível de realizar sem a grande ajuda do Sr. Maximiano que foi incansável e nos levou até aos confins do Douro no seu 4x4, abençoando-nos com pequenas surpresas que ficam para sempre na memória.

Quero também agradecer ao meu grupo de investigação, Nematology@CBMA, à Professora Teresa que me ajudou e aconselhou sempre, à Doutora Clara e à Doutora Ana, à Rita, Rui, João, Paulo, Manuel, Carolina e José que me animaram com risadas e boas doses de motivação. Ao Professor Renato Henriques e ao Doutor Giorgio Pace, mestres do QGis que me ajudaram imenso nessa componente da tese. E à Professora Doutora Laura Torres e ao Professor Doutor António Crespi pela informação sobre a flora associada às vinhas do Douro.

Por me terem apoiado constantemente, por me terem incentivado sempre que a vontade de continuar era pouca e a parar quando era demasiada, um muito obrigada aos meus pais fantásticos, à madrastra mais querida, aos avós confiantes, aos melhores irmãos e a todo o resto da família. Por fim, mas não menos importante um abraço especial para a Mendocas e para a Barbosa que são as melhores amigas e apoiantes que se podem querer nesta fase da vida, acompanhando-me nas sessões de degustação de chás juntamente com o Nuno, que me apoiou sempre sem hesitar. Quero também agradecer ao Ricky e ao Simão, uns senhores, ao Bano que ajudava a não me sentir perdida, ao Tomás e à Bruna e aos amigos de PTL, Chics e John.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho

Aplicação de métricas agroecológicas em agroecossistemas de vinha

Resumo

Na região do Demarcada do Douro (RDD) a vitivinicultura constitui a base fundamental do sustento económico da região, possuindo uma marca e imagem a nível internacional. A produção vitivinícola depende fortemente de recursos naturais que são afetados por uma contínua pressão ambiental, pelo que se pretende a transformação da gestão agrícola com a aplicação de práticas que promovam a sustentabilidade e a resiliência do agroecossistema. Assim, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento de uma métrica de sustentabilidade, a EcoVine, que se baseasse em indicadores agroecológicos integrativos das várias componentes do sistema. A área de estudo foi a Quinta do Seixo inserida na RDD. Todas as observações e informação sobre gestão e produção referem-se a 31 talhões de vinha selecionados na exploração. Com o objetivo de inferir sobre a influência da sustentabilidade na resiliência da exploração agrícola, integraram-se os resultados da EcoVine e de outras métricas de sustentabilidade com dados de produção. Verificou-se ainda se a diversidade de castas presente influenciava os dados de produção, a estabilidade da produção e os valores de sustentabilidade e das componentes relativas à saúde do solo. Em geral, a exploração agrícola não obteve valores de sustentabilidade elevados pela aplicação das métricas, que eram concordantes nos talhões com maior sustentabilidade, mas que diferiam nos talhões com menor valor. A resiliência da produção pode ser relacionada com a sustentabilidade medida, correlacionando-se ainda com a componente *below-ground* da EcoVine. Tendo em conta os resultados, observou-se uma necessidade de dar maior destaque à importância e às funções do solo na resiliência dos agroecossistemas. Verificou-se uma influência relevante da diversidade de castas na sustentabilidade, mas não foi significativa a sua relação com a resiliência da produção. O solo mostrou-se empobrecido em nutrientes e pouco estruturado, tendo pouco poder de regulação o que poderá ser devido às práticas de gestão da exploração. A aplicação da EcoVine a outros sistemas parece-nos viável com alguns ajustes. Incentivamos a investigação na criação de formas mais concretas de medir a resiliência e avaliar a influência dos porta-enxertos e da sua identidade nas métricas de sustentabilidade e nas componentes da produção, de forma a clarificar quais são as suas contribuições relativas para os resultados obtidos nesta dissertação.

Palavras-chave: diversidade de castas, indicadores de sustentabilidade, Região Demarcada do Douro, resiliência da produção, qualidade do solo

Applying agroecological metrics in vineyard agroecosystems

Abstract

In the Douro Demarcated Wine Region (DDR), vitiviniculture is the basis for sustaining the economy of the region, with a strong brand at the international level. Wine production is highly dependent on natural resources that are affected by continuous environmental pressure, so there is a need to transform the agricultural management by applying practices that promote the sustainability and resilience of the agroecosystem. Thus, the goal of this work was to develop a sustainability metric, the EcoVine, which was based on integrative agroecological indicators of the different components of the system. The study area was a farm in the DDR. All observations and information on management and production were retrieved from 31 selected plots in the farm. To infer on the influence of sustainability on farm resilience, the results of EcoVine and other sustainability metrics were compared with the production data. It was further verified whether the diversity of varieties in the plots influenced the production along with the sustainability and soil health data. In general, the farm did not obtain high sustainability values when the metrics were applied. Sustainability values were in agreement in plots with higher sustainability but that differed among plots with lower value. Production resilience could be correlated with the sustainability metrics and with the below-ground component of EcoVine. These findings stress the need for emphasising the contribution of soil functions to the resilience of agroecosystems. A relevant influence of grapevine varieties diversity on sustainability was observed, but its relationship with production resilience was not significant. The soil was nutrient impoverished and with poor structure, with little regulation capacity, which may be due to the farm management practices. The EcoVine metric is applicable to other systems with some adjustments; but more research is encouraged for depicting resilience and to assess the contribution of the rootstocks and their identity to sustainability and production.

Keywords: sustainability indicators, diversity of varieties, Douro Demarcated Region, production resilience, soil quality

Índice

Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de figuras.....	xii
Lista de tabelas	xiv
1. Introdução	16
1.1. A vinha e o seu papel num contexto socioeconómico e ambiental	16
1.2. Resiliência, sustentabilidade e serviços dos ecossistemas.....	17
1.3. Gestão da vinha e sua influência na sustentabilidade agrícola	20
1.4. Agroecologia e intensificação agroecológica em sistemas de vinha.....	22
1.5. Agroecossistemas <i>below</i> e <i>above-ground</i>	23
1.5.1. <i>Below-ground</i>	23
1.5.2. <i>Above-ground</i>	26
1.6. Métricas de sustentabilidade e indicadores agroecológicos	27
1.7. Objetivos.....	30
2. Materiais e métodos	31
2.1. Descrição da área de estudo – Quinta do Seixo	31
2.1.1. Organização da Quinta e seleção de pontos de amostragem.....	32
2.2. Parâmetros da saúde e qualidade do solo	34
2.2.1. Amostragem do solo e processamento	34
2.2.2. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do solo	34
2.2.3. Extração e identificação de nemátodes.....	35
2.2.4. Observação, identificação e contagem de nemátodes do solo	35
2.2.5. Cálculo de índices ecológicos e pegadas metabólicas da comunidade de nemátodes	36
2.3. Análise da complexidade de infraestruturas ecológicas e processamento	38
2.3.1. Infraestruturas ecológicas	38
2.3.2. Diversidade e cobertura florística do enrelvamento	38
2.4. NDVI e Clima.....	39
2.5. Produção e estabilidade.....	40
2.6. Cálculo de métricas de sustentabilidade.....	40
2.6.1. FESLM (<i>Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management</i>)	40

2.6.2. <i>A Rapid, Farmer-Friendly Agroecological Method to Estimate Soil Quality and Crop Health in Vineyard Systems</i>	41
2.6.3. INSPIA (<i>Initiative for Sustainable Productive Agriculture</i>)	43
2.6.4. CAET	45
2.7. Métrica EcoVine.....	47
2.8. Tratamento de dados.....	47
2.8.1. Desenvolvimento da métrica EcoVine	47
2.8.1.1. Seleção de indicadores	47
2.8.1.2. Cálculo da métrica de sustentabilidade	49
2.8.2. Produção e sua estabilidade	49
2.8.3. Diversidade de Castas.....	50
3.Resultados	50
3.1. Análise das componentes <i>Below-ground</i>	50
3.1.1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do solo	50
3.1.2. Análise das comunidades de nemátodes	51
3.1.2.1. Abundância das comunidades de nemátodes	51
3.1.2.2. Pegadas metabólicas de estrutura, enriquecimento e herbivoria	53
3.2. Análise das componentes <i>Above-ground</i>	54
3.2.1. Avaliação da complexidade de infraestruturas ecológicas.....	54
3.2.2. Cobertura e diversidade florística do enrelvamento	55
3.2.3. NDVI.....	57
3.3. Métricas de Sustentabilidade	58
3.3.1. Métricas publicadas	58
3.3.2. EcoVine	61
3.3.3. Relações entre métricas de sustentabilidade	66
3.3.4. Relações entre métricas de sustentabilidade, produção e estabilidade	66
3.4. Efeito da diversidade de castas na sustentabilidade, na produção e na saúde do solo ...	69
3.4.1. Diversidade de castas <i>versus</i> métricas de sustentabilidade e estabilidade de produção	69
3.4.2. Perfis faunísticos e pegadas metabólicas do solo.....	70
4. Discussão.....	73
4.1. Métricas de sustentabilidade.....	73

4.2. Influência da diversidade de castas na produção e na estabilidade	78
4.3. Conclusões.....	81
5. Referências Bibliográficas	82
6. Anexos	98

Lista de figuras

Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo da Quinta do Seixo e área envolvente e indicação da posição dos talhões selecionados para amostragem. CRS: ETRS89	32
Figura 2. Número de castas de videira plantadas nos talhões selecionados para amostragem na Quinta do Seixo. CRS: ETRS89.....	33
Figura 3. Diagrama geral das características de cada quadrante (A-D) do perfil faunístico do solo. As guildas funcionais dos nemátodes estão representadas pelo seu grupo trófico e pela sua escala “cp”, informando também sobre o estado da condição da rede trófica do solo. Baseado em Ferris et al. 2001.....	38
Figura 4. Abundância de nemátodes pertencentes a cada grupo trófico nos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com número de castas associadas. Os valores representam a média de 3 amostras de 100 ml de solo por talhão.....	52
Figura 5. Abundância de nemátodes herbívoros pertencentes a cada género presente nos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com número de castas associadas. Os valores representam a média de 3 amostras de 100 ml de solo por talhão.....	53
Figura 6. Escala de complexidade infraestruturas ecológicas (0 a 5) com respetiva classificação nos 31 talhões selecionados e número de castas associadas. Dados recolhidos em maio 2021.	54
Figura 7. Escala de gestão de enrelvamento (0 a 2) com respetiva classificação dos 31 talhões selecionados com respetiva classificação nos 31 talhões selecionados e número de castas associadas.	55
Figura 8. Cobertura média total dos 31 talhões selecionados tendo em conta a diversidade de castas associada e a identidade das espécies presentes como "Grasses", "Legumes" e "Forbs".	56
Figura 9. Riqueza de espécies presentes na generalidade do enrelvamento entre linha de vinha dos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com respetiva diversidade de castas.....	57
Figura 10. Mapa com intervalos de valores de NDVI médio do ano de 2021 nos talhões selecionados da Quinta do Seixo.....	58
Figura 11. Valores das métricas de sustentabilidade para cada um dos 31 talhões analisados na Quinta do Seixo. Cada uma das métricas tem um valor limiar associado (representado pela linha a tracejado), se esse valor for ultrapassado, o talhão é considerado sustentável. FESLM, com indicação de categoria Sustentável (S) e Não Sustentável (NS); Nicholls et al.- valor limiar representa a média dos valores de todos os talhões. INSPIA, valor limiar associado de 67. CAET, valor limiar representa a média dos valores dos talhões.	59
Figura 12. Análise de componentes principais (PCA) dos indicadores below-ground (PC1, eigenvalue=3,34 ; PC2, eigenvalue= 1,40).....	62

Figura 13. Análise de componentes principais (PCA) dos indicadores above-ground (PC1, eigenvalue=2,52; PC2, eigenvalue= 1,72)	62
Figura 14. Valores dos índices below- e above-ground e da nova métrica de sustentabilidade criada, a EcoVine com a respetiva classificação por talhão. Foi criado um valor limiar para os dois índices e a métrica EcoVine a partir da grande média que no caso dos índices corresponde a 1 e no caso da métrica final corresponde a 0,5. Os talhões que ultrapassassem esse valor limiar (representado pela linha a tracejado) foram considerados sustentáveis.	65
Figura 15. Efeito do nº de castas nos valores médios (+ desvio padrão) da métrica FESLM (A) e da produção média (B). Letras diferentes por cima das barras, representam diferenças significativas entre os grupos (teste LSD, $p<0,05$). Para 1 casta- $n=15$; 2 castas, $n=7$; 3 castas, $n=3$; 4 castas, $n=2$; 5 castas, $n=1$; 9 castas, $n=1$; 13 castas, $n=1$; 18 castas, $n=1$	70
Figura 16. Perfis faunísticos que representam as condições de estrutura e de enriquecimento da rede alimentar do solo de acordo com a diversidade de castas presentes nos talhões. O ponto no centro do romboide representa a interseção entre os índices de estrutura e de enriquecimento. A área total das pegadas de estrutura e de enriquecimento representa a pegada funcional da rede alimentar. Estas foram calculadas através do uso de uma constante k de valor 5 de forma a facilitar a visualização das pegadas (Ferris, 2010).	72
Figura 17. Pegadas metabólicas dos grupos tróficos de nemátodes (PF-herbívoros; OM-omnívoros; PR- predadores; FF-fungívoros; BF-bacterívoros) para os solos dos talhões com diferentes diversidades de castas.	73

Lista de tabelas

Tabela 1. Tabela com as métricas utilizadas neste trabalho com o número de indicadores base correspondentes e dimensões abordadas. Todas as métricas assumem que quanto maior o valor da métrica, mais sustentável. NS- “Não Sustentável”.	28
Tabela 2. Métrica Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management (FESLM): indicadores utilizados em Gomez et al. (1996) divididos por dimensão “Satisfação do Produtor” e “Conservação de recursos” com respectivas fórmulas de valor limiar e indicadores usados no cálculo da métrica para a Quinta do Seixo. A- Aplicado NA-Não Aplicado.....	41
Tabela 3. Métrica de Nicholls et al. (2004) com indicadores originais e indicadores usados no cálculo da métrica para a Quinta do Seixo. A- Aplicado NA-Não-Aplicado	43
Tabela 4. Métrica Initiative for Sustainable Productive Agriculture (INSPIA) com indicadores originais e os indicadores usados no cálculo da mesma métrica para a Quinta do Seixo. A- Aplicado NA- Não aplicado	44
Tabela 5. Métrica Characterization of AgroEcological Transition (CAET) e elementos agroecológicos em que se inserem bem como indicadores originais e os utilizados no cálculo da mesma métrica para a Quinta do Seixo. A-Aplicado NA- Não aplicado	46
Tabela 6. Dimensões da sustentabilidade usadas na EcoVine e indicadores correspondentes. .	47
Tabela 7. Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais, respeitantes à componente below-ground do sistema, com o correspondente tipo e unidade.....	48
Tabela 8. Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais, respeitantes à componente above-ground do sistema com o correspondente tipo e unidade.	48
Tabela 9. Seleção de componentes principais a considerar nos índices below e above-ground através da sua percentagem de variância explicada. As componentes que ultrapassaram o valor limiar de 15% de variância encontram-se destacadas a verde.	63
Tabela 10. Loadings das 3 componentes principais selecionadas para o índice below-ground com base nos indicadores matéria orgânica (MO), pH, atividade microbiológica (Atv.Micro), humidade, pegada metabólica de herbivoria (logHF), pegada metabólica de enriquecimento (logEF) e pegada metabólica de estrutura (logSF) das comunidades de nemátodes. Os valores que ultrapassaram o valor limiar de 0,4 encontram-se destacados a verde.....	63
Tabela 11. Loadings das 3 componentes principais selecionadas para o índice above-ground com base nos indicadores complexidade de infraestruturas ecológicas, gestão do enrelvamento, riqueza, percentagem de cobertura, percentagem de grasses, forbs e legumes e NDVI do ano de 2021. Os valores que ultrapassaram o valor limiar de 0,4 encontram-se destacados,	64
Tabela 12. Matriz de correlação de Spearman entre todas as métricas de sustentabilidade aplicadas aos talhões da Quinta do Seixo. Os valores de correlação são apresentados na metade de baixo da matriz, com “*” encontram-se os valores com correlações significativas ($p < 0.05$). 66	

Tabela 13. Matriz de correlação de Spearman entre as métricas de sustentabilidade publicadas e a produção do ano de 2020 (P_2020), produção média (P_média) e desvio-padrão da produção (DP). Destacados com “*” encontram-se os valores com relações significativas ($p < 0,05$)..... 68

Tabela 14. Matriz de correlação de Spearman entre a EcoVine e os índices below e above-ground e a produção do ano de 2020 (P_2020), produção média (P_média) e desvio-padrão da produção (DP). Destacados com “*” encontram-se os valores com relações significativas ($p < 0,05$) e o respetivo valor de correlação. 68

1. Introdução

1.1. A vinha e o seu papel num contexto socioeconómico e ambiental

A agricultura em Portugal tem perdido relevância a nível económico nas últimas décadas, com menos riqueza associada e menor empregabilidade. No entanto, o setor agrícola ainda continua a ser a principal atividade económica em certas regiões como o Alentejo ou a zona Norte do País (Redžepagić & Simões, 2013). A cultura da videira (*Vitis vinifera*) é das atividades agrícolas mais antigas e que mais se expressa a nível geográfico (Dickenson, 1992). O cultivo da videira para a produção de vinho envolve tradição e cultura, conhecimento e experiência, clima e *terroir* (Dickenson, 1992). O enoturismo é uma peça essencial que está em crescimento e em constante evolução, gera receita económica permitindo a prova dos vinhos produzidos nas explorações agrícolas, mas também dá a conhecer as regiões vitivinícolas e os produtos regionais que as caracterizam (Hall, 2002).

Em Portugal, a vitivinicultura é uma das atividades mais relevantes numa perspetiva socioeconómica, representando aproximadamente 12,5% da produção agrícola do país (INE, 2020). A nível mundial, Portugal é o 11º país com maior produção de vinho e o 10º com maior exportação (OIV, 2021).

Na região do Douro a vitivinicultura constitui a base fundamental do sustento económico da região, possuindo uma marca e imagem a nível internacional (Comunidade Intermunicipal do Douro, 2015). A Região Demarcada do Douro (RDD) tem origem numa delimitação territorial de 1756, sendo o primeiro modelo de organização de uma região vinícola a nível mundial. Sendo uma região com características únicas a nível da otimização da produção vitivinícola em declives acentuados e com pouco solo e pouca água (configuração da vinha em socalcos e patamares), em 2001 cerca de 10% da área total da RDD foi classificada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) como Património da Humanidade na categoria de paisagem cultural. A RDD, divide-se em três sub-regiões: Baixo Corgo, Cima Corgo e Douro Superior (Museu Do Douro, 2015). A sub-região do Cima Corgo ocupa cerca de 38% da área total da RDD. Com 22% de área de vinha, a região centra-se na vila do Pinhão e a sua área estende-se entre o limite da sub-região do Baixo Corgo até ao meridiano do Cachão da Valeira (IVDP, 2010). Nesta sub-região, os solos são xistosos e o clima é hostil sendo que há uma incidência de chuvas menor em comparação com o Baixo Corgo. Estas características fazem

com que a produção de uva não seja muito elevada, mas que a qualidade do vinho seja superior, produzindo vinhos mais concentrados, complexos e com maior potencial para o envelhecimento (Moreira & Guedes de Pinho, 2011).

As vinhas são locais de tradição rica que podem ser consideradas paisagens multifuncionais a nível económico, cultural, mas também a nível ecológico (Winkler et al., 2017). A produção vitivinícola depende fortemente de recursos naturais que começam a ser afetados por uma contínua degradação ambiental (Santos et al., 2019). Sendo uma parte importante da produção agrícola, valores como a sustentabilidade, a conservação e a resiliência têm um papel importante na sobrevivência desta indústria a longo prazo. É essencial que as práticas agrícolas não continuem a ter um impacto negativo nestes recursos naturais (Marta-Costa, 2010), e que se consiga integrar a multidisciplinariedade nos processos de tomada de decisão e gestão. Uma abordagem que se baseie nessa multidisciplinariedade de forma a potenciar a resiliência do sistema, pode ser uma solução a adotar para que os serviços que nos são providenciados pelo ecossistema da vinha sejam aproveitados ao máximo enquanto se pratica uma agricultura sustentável que protege os recursos e potencia a biodiversidade funcional.

1.2. Resiliência, sustentabilidade e serviços dos ecossistemas

A sustentabilidade, a resiliência e os serviços que os ecossistemas fornecem ao ser humano são conceitos intimamente ligados. No entanto, estes são conceitos abstratos que podem ter uma panóplia de interpretações e definições (Abbona et al., 2007; Marchese et al., 2018). Dessa forma, é importante esclarecer, para efeitos desta dissertação, o que se considera sustentabilidade e resiliência.

O conceito de sustentabilidade foca-se na obtenção de uma melhor qualidade de vida respeitando considerações ambientais, económicas e sociais quer para gerações presentes, quer para gerações futuras (Marchese et al., 2018; Marta-Costa, 2010; Santos et al., 2019; Schaller, 1993). Desta forma uma vinha sustentável deve ser capaz de se manter economicamente viável enquanto mantém a capacidade de produzir e melhorar a qualidade ao longo do tempo (Santiago-Brown et al., 2014).

A resiliência foca-se na resposta dos sistemas (naturais, sociais ou económicos) a distúrbios extremos ou *stress* persistente (Marchese et al., 2018). Holling (1973) definiu resiliência de um ecossistema como a magnitude de um distúrbio que um sistema consegue experienciar antes de

mudar para um novo estado em termos de estrutura e função. Apesar de ter sido um conceito-base que começou a fomentar mais discussão sobre a capacidade dos ecossistemas responderem a perturbações, neste trabalho considera-se resiliência como a capacidade de um sistema absorver distúrbios e se reorganizar de forma a manter a mesma função, estrutura e identidade (Walker & Meyers, 2004). Assim, a resiliência reflete o grau em que um sistema complexo é capaz de se organizar, sem ser forçado a isso por fatores externos, mas também demonstra se o ecossistema consegue aumentar a capacidade de adaptação e plasticidade (Folke et al., 2004). No passado, assumia-se que o ambiente era infinitamente estável e resiliente, mas hoje em dia essa forma de pensamento mudou com a percepção de que o uso exagerado de recursos pelo ser humano gera impactos difíceis de superar; reconhece-se agora que a resiliência pode e está a ser constantemente afetada e que a capacidade dos ecossistemas se autorrepararem está largamente comprometida (Folke, 2003).

Num agroecossistema, é importante lembrar que o ser humano é uma peça fundamental que poderá influenciar e criar condições para a resiliência, determinando que componentes do sistema têm acesso e controlo dos recursos (Córdoba et al., 2020). Uma das componentes que influencia fortemente a resiliência de um sistema agrícola é a estabilidade e resistência da produção, com correspondente reduzida variabilidade ao longo dos anos e baixo potencial de quebras de produção (Li et al., 2019). Tendo em conta os fatores que o ameaçam como pragas e doenças, alterações climáticas, entre outros, um agroecossistema tem de ser capaz de resistir e recuperar de forma a ser menos suscetível a flutuações a nível de produção e preços de mercado (Kremen & Miles, 2012; Liebman & Schulte, 2015). A sua complexidade é demasiado elevada para se medir precisamente a resiliência, dessa forma, tem de se simplificar a sua avaliação, usando formas que se apliquem quer no tempo, quer no espaço (Cabell & Oelofse, 2012; Darnhofer et al., 2010) sendo que a forma mais direta e mais simples de o fazer, é através desta estabilidade de produção.

A sustentabilidade e a resiliência estão intimamente ligadas, de alguma forma para haver sustentabilidade tem de haver, pelo menos, resiliência (Derissen et al., 2011; Lebel et al., 2006). Num agroecossistema, o produtor tem de estar pronto para os períodos inevitáveis de mudança e para isso, a exploração agrícola tem de reter diversidade e, como consequência, redundância para assegurar a adaptação. Assim, se houver perda de espécies com papéis relevantes no ecossistema, o efeito dessa perda é atenuado por outras (Walker, 1992). Nesta

agrobiodiversidade inclui-se uma biodiversidade planeada, incluída propositadamente no sistema através, por exemplo, das culturas utilizadas, e uma biodiversidade associada que são espécies nativas do próprio sistema ou provenientes de sistemas adjacentes e que vão prosperar no agroecossistema, dependendo da sua gestão (Altieri, 1999). Infraestruturas ecológicas como enrelvamentos entre linhas, bosques, colmeias, etc. aumentam a complexidade da paisagem agrícola e promovem o aumento da diversidade no sistema (Kleijn et al., 2019) e, como consequência, um aumento dos serviços de ecossistemas providenciados pela exploração (Bommarco et al., 2013).

A Humanidade depende da natureza desde sempre, e as contribuições desta são de relevância elevada no conceito de bem-estar. A partir desta noção, foi criado o conceito de serviços de ecossistema, que representam os benefícios que a população humana obtém, direta ou indiretamente, das funções providenciadas por um ecossistema (Costanza et al., 1997). Segundo a *Common International Classification of Ecosystem Services* (2018) os serviços são classificados de em três categorias que se interligam:

- Serviços de provisão, são produtos obtidos diretamente dos ecossistemas como comida, água doce, bioquímicos, entre outros;
- Serviços de regulação e manutenção, todas as formas em que os organismos podem alterar ou moderar o meio ambiente através de processos como produção primária, a reciclagem de nutrientes e a formação do solo que afetam a saúde, o conforto e a segurança do ser humano;
- Serviços culturais, que são serviços imateriais que os ecossistemas nos fornecem a nível religioso, espiritual, inspiracional, educacional, recreacional e estético.

Assim, os sistemas agrícolas também geram uma variedade de serviços de ecossistemas de diferentes tipos incluindo provisão de alimento, retenção e destoxificação da água, regulação de pragas e doenças, controlo de erosão do solo, espaços recreacionais, etc. Apesar de providenciarem serviços, os agroecossistemas também dependem muito destes; a gestão do agroecossistema, a diversidade e as infraestruturas que a promovem influenciam serviços de regulação e de suporte que são essenciais para otimizar a produção agrícola (Dale & Polasky, 2007) e reduzir a quebra de produção, que se define pela diferença entre o potencial de produção alcançável e a produção realmente obtida pelo produtor. Esta quebra de produção pode aumentar se serviços de ecossistema como a polinização, o controlo de pragas e doenças,

o sequestro de carbono, a reciclagem de nutrientes e fertilidade do solo, etc. não forem atingidos, incitando o produtor a aplicar fatores de produção externos (Bommarco et al., 2013). Dependendo da sua gestão, os agroecossistemas também geram efeitos prejudiciais que incluem emissão de gases de efeito de estufa, poluição da água, perda de biodiversidade e o uso de tais fatores externos pode fazer com que outro sistema a nível da paisagem não possa providenciar os seus serviços que podem ir desde culturais, ao verem uma paisagem agrícola multifuncional e sem consequências destes fatores, as pessoas têm um sentimento espiritual; até serviços de regulação e manutenção, controlando e atuando como zonas tampão contra cheias ou pragas e doenças (Bennett et al., 2021). Assim, é necessário aplicar estratégias que otimizem os serviços de ecossistema da exploração agrícola, criando uma agricultura multifuncional, melhorando o contexto ecológico regional onde esta se encontra. Posto isto, a relação entre serviços de ecossistema e o ser humano não é, de todo, unidirecional porque os serviços que são prestados dependem das ações do produtor que pode escolher protegê-lo, restaurá-lo ou mudá-lo afetando a diversidade, produtividade e a resiliência (Comberti et al., 2015) e, por consequência, a sua sustentabilidade. Desta forma, apesar de ser complexo, tentar quantificar a capacidade de resiliência de um sistema agrícola é essencial para que o produtor consiga prever o grau de estabilidade e segurança para gerir potenciais ameaças futuras.

1.3. Gestão da vinha e sua influência na sustentabilidade agrícola

Uma população mundial em crescimento contínuo necessita de mais alimento e, como consequência, uma maior intensificação da agricultura (Tilman et al., 2011). Desta forma, uma gestão agrícola inapropriada, baseada numa intensificação convencional, leva à criação de agroecossistemas menos resilientes, estando sujeitos por exemplo, a um maior ataque de pragas e doenças. Assim, estes sistemas têm a necessidade de se apoiar numa elevada utilização de fatores de produção externos (por exemplo, pesticidas e fertilizantes sintéticos) que, em conjunto com elevada emissão de gases de efeito de estufa e a fragmentação de habitats, podem levar a uma degradação ambiental irreversível (Chappell & LaValle, 2009; Tilman et al., 2011). Por outro lado, os produtores desejam que o capital investido seja transformado em lucro de forma rápida e eficaz, o que leva a uma preferência por métodos de gestão convencionais (Borsato et al., 2020) que se definem por um uso intensivo de recursos naturais e energéticos. Contudo, existe uma urgência ambiental que obriga à proteção destes recursos naturais (Marta-Costa, 2010) com vista à sustentabilidade e resiliência do sistema.

Combinar o uso eficiente de terrenos agrícolas para promover a sustentabilidade e os serviços de ecossistemas é atualmente um desafio para mitigar alguns problemas como o ataque de pragas e doenças, as alterações climáticas que influenciam cada vez mais as culturas, a escassez de água e também a degradação do solo. Uma gestão focada na biodiversidade e na multifuncionalidade oferece vantagens não só a nível de produção, que vai estabilizar a longo prazo (Bommarco et al., 2013), mas também beneficia no patamar do consumidor que está cada vez mais a interiorizar conceitos de responsabilidade ambiental e social (Forbes et al., 2009).

Alguns dos sistemas de produção considerados sustentáveis incluem i) a agricultura biológica, um modo de produção agrícola que produz alimento ao mesmo tempo que se promovem práticas sustentáveis através do uso de métodos como a rotação de culturas, a compostagem e o uso de infraestruturas ecológicas; e ii) a produção integrada, que é uma produção onde se dá importância a práticas sustentáveis, mas, ao mesmo tempo, se dá destaque à componente económica. Ambas utilizam boas práticas agrícolas com uma gestão de recursos naturais de forma a substituir fatores de produção, privilegiando a preservação do solo e da biodiversidade, tendo em conta uma visão holística do agroecossistema (Aguar et al., 2005). Apesar de terem vários pontos em comum, são distintas pelo facto da produção integrada permitir o uso de compostos orgânicos de síntese em algumas condições, nomeadamente quando é necessário salvar o rendimento da exploração agrícola, enquanto que na agricultura biológica, a aplicação de fitofarmacêuticos sintéticos não é tolerada em nenhuma situação, usando-se apenas compostos inorgânicos, como o cobre e o enxofre (DGADR, 2005).

A produção vitivinícola, da mesma forma que a produção agrícola no geral, é influenciada por vários fatores, como o clima, o tipo de solo e as castas que são cultivadas. Estes fatores podem alterar a dinâmica de uma exploração, influenciando a sua resistência, mas também a sua produtividade. Desta forma, o tipo de abordagem que o produtor utiliza na gestão da exploração é extremamente relevante para que haja estabilidade e resiliência face a fatores externos (Winter et al., 2018). Os métodos de produção devem ser ajustados não só a nível tecnológico mas também ambiental para que as estratégias de gestão se foquem na sustentabilidade da vinha com vista à sua multifuncionalidade e resiliência.

1.4. Agroecologia e intensificação agroecológica em sistemas de vinha

O conceito de agroecologia surgiu no início do século XX, tendo esta sido considerada uma disciplina que aplicava conceitos e princípios ecológicos ao desenho e gestão de sistemas agrícolas. Atualmente é considerada uma abordagem integrativa do processo de provisão alimentar, que não se foca apenas na produção, e considera os aspetos sociais e ecológicos (Altieri, 1995). A agroecologia depende dos processos naturais para que haja interações biológicas favoráveis entre todos os elementos que compõem os sistemas agrícolas (Mockshell & Villarino, 2019). Ao contrário dos estudos sobre agricultura convencional que se focam em mudar o sistema em larga escala (abordagens *top-down*), a agroecologia dá mais atenção a abordagens ao nível local que permitem ao produtor aplicar o seu conhecimento tradicional de forma a participar ativamente na mudança dos sistemas agrícolas (Garibaldi et al., 2017; Spoelstra & Elzen, 2010). Um dos principais objetivos da agroecologia é o da implementação de uma agricultura sustentável. No entanto, melhorar a produção com medidas baseadas na sustentabilidade necessita de uma estratégia integrada que considere todos os recursos, várias disciplinas e efeitos externos (Tscharntke et al., 2012).

Neste contexto, surgiu o conceito de intensificação agroecológica cujo objetivo é melhorar o desempenho da agricultura enquanto se minimizam os impactos ambientais e se reduz a dependência de fatores de produção externos através de princípios agroecológicos (Tscharntke et al., 2012) que vão ao encontro das perspetivas socioculturais (Mockshell & Villarino, 2019). Esta intensificação agroecológica pode ser associada ao conceito de *land-sharing*, que se aplica ao nível da paisagem agrícola e integra a conservação da biodiversidade numa produção agrícola de forma a otimizar os serviços de ecossistema (Grass et al., 2019).

O processo de intensificação agroecológica é alimentado pelos princípios-base da agroecologia que quando aplicados à vinha passam por i) fortalecer a reciclagem de biomassa e nutrientes, a partir do uso de enrelvamentos que, embora tenham sido associados a desserviços ao competir potencialmente por recursos com a vinha, podem ser ajustados às necessidades do solo e da vinha através das espécies que os compõe ou através da sua gestão (Gary et al., 2017); ii) aumentar a diversidade de castas e de porta-enxertos, de forma a conferir proteção contra pragas e doenças ou a diminuir o efeito destas, já que a aplicação de ferramentas agroecológicas como a rotação de culturas ou o uso de diferentes culturas na produção não podem ser utilizadas dada a natureza da videira e do *terroir*; iii) promover interações benéficas

da biodiversidade, também graças ao uso de enrelvamentos e outras estruturas ecológicas como lagos, muros, bosques ou integrando animais que poderão ser fonte adicional de rendimento (Altieri & Rosset, 1996); e, por fim, iv) melhorar uma das componentes mais importantes da agroecologia, a qualidade e a saúde do solo com o auxílio dos mesmos enrelvamentos com especial atenção para o uso de leguminosas nas misturas e também com o uso de estrume produzido na integração de animais ou adotando conceitos como o *mulching*, que ajudam a melhorar a fertilidade, a estrutura e a estabilidade do solo incentivando a complexidade das comunidades biológicas, aumentando o azoto disponível no solo para a videira e diminuindo a superfície do solo exposta a fatores externos como a radiação e a precipitação (Altieri, 2012; Romero et al., 2022).

Estes princípios e ferramentas aumentam a capacidade ecológica da vinha, mantendo as condições naturais de forma a evitar falhas na produção e tornando o sistema multifuncional e com capacidade de se adaptar e responder a diferentes condições ambientais, tornando-se mais resistente e resiliente para que não haja uma perda de toda a cultura (Gliessman, 2014; Tscharntke et al., 2012). Desta forma, a agroecologia e a consequente intensificação agroecológica providenciam uma base tecnológica, científica e metodológica que permite uma agricultura sustentável (Altieri & Nicholls, 2012) com vista a manter a multifuncionalidade (Liere et al., 2017) e a resiliência.

1.5. Agroecossistemas *below* e *above-ground*

As combinações e sinergias que ocorrem entre as componentes *below* e *above-ground*, ou abaixo e acima do solo, são de elevada complexidade. Ao nível do agroecossistema, estas interações são especialmente importantes porque ajudam a equilibrar a produção enquanto se potenciam as funções e os serviços de ecossistemas (Bommarco et al., 2013).

1.5.1. *Below-ground*

A componente *below-ground* do agroecossistema só começou a ser estudada recentemente, em parte porque só nas últimas décadas é que a tecnologia avançou o suficiente para se poder caracterizar as comunidades presentes no solo, mas principalmente porque houve uma consciencialização geral da importância das funções do solo e das interações bióticas *below-ground* (Bardgett et al., 2005).

A saúde do solo descreve a condição generalizada do solo e, num agroecossistema é essencial que a gestão do solo seja feita de forma a mantê-lo saudável. No solo a matéria orgânica é transformada através do processo de decomposição que é mediado por fungos e por bactérias (Allison, 2006), promovendo a mineralização de nutrientes que possam ser utilizados pelas plantas e também no processo de humificação (Guggenberger, 2005). Um elevado teor de matéria orgânica leva a uma maior retenção de nutrientes e também uma maior absorção de água (Rawls et al., 2003). Isto promove a disponibilidade de alimento e diversificação de microhabitats e, conseqüentemente, a complexidade das redes tróficas que tornam o solo capaz de regular populações de pragas e doenças (Kibblewhite et al., 2007). Apesar do setor agrícola depender, em grande parte, do solo para a provisão de alimento, existe uma contínua degradação do mesmo pondo em risco a resistência e a resiliência dos agroecossistemas (Congreves et al., 2015). Na vinha esta degradação é especialmente relevante pois há uma compactação elevada e uma grande frequência da lavoura, no caso da RDD ainda existem fatores como as inclinações elevadas do terreno que facilitam a erosão se a armação usada na vinha não for adequada (Martins, 2005).

A regulação de cada função do solo é determinada por um largo número de atributos que podem interagir entre si (Laishram et al., 2012). Parâmetros físico químicos como o pH, a matéria orgânica e a humidade, e parâmetros biológicos como a atividade microbiológica (Arias et al., 2005) e a estrutura de comunidades bioindicadoras como as de nemátodes (Neher, 2001) ou de oligoquetas (Fründ et al., 2010) são importantes para avaliar a qualidade e a saúde do solo.

Alterações no pH podem influenciar a disponibilidade de nutrientes e alterar as comunidades do solo podendo deixá-las mais vulneráveis a doenças e pragas (Rengel, 2011). Quanto à matéria orgânica, como mencionado anteriormente, é importante para a reciclagem de nutrientes, mas também para a estrutura e retenção de água no solo, para a absorção de poluentes e para a manutenção da biodiversidade e da fertilidade (Jangir et al., 2019). A humidade do solo tem um papel importante na previsão de secas ou cheias, na gestão da rega e na estrutura das comunidades de microrganismos que habitam o solo. Posto isto, a atividade microbiológica é também um aspeto relevante na saúde do solo, visto que os microrganismos são essenciais para a reciclagem da matéria orgânica e para a imobilização de nutrientes (Korres et al., 2010).

Apesar de se dar uma importância cada vez maior à saúde e qualidade do solo, há uma falta de estudos onde ela é quantificada sendo isso possível através do uso de bioindicadores. É comum

usar comunidades de oligoquetas dada a sua composição em certos locais, o comportamento individual da oligoqueta em contacto com o substrato ou a acumulação de químicos no seu corpo (Fründ et al., 2010). Para além das oligoquetas, as comunidades de nemátodes também são utilizadas como bioindicadores da qualidade e da ecologia do solo. Apesar do seu tamanho ser reduzido, são considerados os animais mais abundantes e com maior distribuição em todo o planeta (van den Hoogen et al., 2020) e dão-nos luz sobre as funções que estão a ser providenciadas pelo solo (Bongers, 1990; Ferris et al., 2001; Khanum et al., 2021; Yeates, 2003). O facto de serem abundantes não é o único a considerar na sua classificação como bioindicadores, os nemátodes estão presentes em todos os tipos de solo e em habitats que vão de prístinos a extremamente poluídos (Bongers & Ferris, 1999); têm funções-chave nas redes tróficas do solo alimentando-se e sendo alimento de vários organismos edáficos, mas também estão envolvidos em ambos os canais de decomposição (fungos e bactérias) (Heidemann et al., 2014; Wardle & Yeates, 1993). As comunidades de oligoquetas e de nemátodes são importantes para obter informação sobre a qualidade e a saúde do solo e influenciam-se mutuamente, mas os nemátodes são de mais fácil obtenção, armazenamento e identificação apesar do tamanho reduzido (Yeates & Bongers, 1999) e têm um papel essencial na composição das redes tróficas.

Os nemátodes podem ser classificados segundo o seu grupo trófico, que tem em conta os seus hábitos alimentares, assim podemos ter nemátodes bacterívoros (BF), fungívoros (FF), herbívoros (PF), omnívoros (OM) e predadores (PR) (Yeates et al., 1993). Uma outra classificação dos nemátodes leva em conta a sua estratégia de vida, num espectro de “colonizador-persistente” (cp) que tem em conta a capacidade de colonização e a resiliência destes face às condições do ambiente sendo que a classificação varia entre 1 (famílias que têm tempos rápidos de colonização e resistência a distúrbios) e 5 (famílias com tempos de geração longos e muito sensíveis a alterações) (Bongers & Bongers, 1998; Ferris et al., 2001). Se juntarmos estas duas classificações temos guildas funcionais onde se inserem espécies com atributos biológicos similares e com respostas semelhantes às condições ambientais (Cesarz et al., 2015; Ferris & Bongers, 2006; Ferris et al., 2001). A partir destas informações podemos analisar perfis faunísticos e pegadas metabólicas do solo que nos dão informação sobre a magnitude dos processos e funções assegurados por vários níveis da rede trófica do solo (Ferris, 2010; Ferris et al., 2001).

1.5.2. Above-ground

A componente *above-ground* do agroecossistema é a mais estudada tradicionalmente e é acima do solo que se situa a parte aérea das culturas que fornece a maioria dos produtos, os organismos de mais fácil visualização e onde se sofrem diretamente os efeitos das condições climáticas. Assim, é importante notar que existem fatores que podem influenciar esta componente e também a *below-ground* mas que muitas vezes são negligenciados. Desta dimensão fazem parte as infraestruturas ecológicas, a saúde da videira e a diversidade de castas.

Como mencionado anteriormente, infraestruturas ecológicas estão presentes numa exploração agrícola e contribuem diretamente para o aumento da biodiversidade do agroecossistema e para que os serviços de ecossistema sejam providenciados com todo o seu potencial (Rosas-Ramos et al., 2019).

Dando especial atenção ao enrelvamento entre linhas de vinha, estes oferecem imensos benefícios que passam por controlar o vigor da videira, melhorar a qualidade da uva, controlar a erosão do solo e a sua fertilidade bem como a sua estrutura e capacidade de retenção de água (Celette et al., 2008; Lopes et al., 2008; Lopes et al., 2011; McGourty, 2004; McGourty & Reganold, 2005). Sendo que os enrelvamentos são geridos de diferentes formas para diferentes fins, podem ser semeados com misturas escolhidas ou espontâneos, permanentes ou temporários, totais ou parciais dependendo do tipo de solo, das condições climáticas ou dos objetivos de produção da vinha (Metay et al., 2017). As espécies que os compõe também são de elevada importância pois diferentes plantas podem oferecer diferentes serviços ao solo e à vinha (Creamer et al., 1997).

A diversidade de castas é também importante como mencionado anteriormente, sendo que é uma das poucas formas que o produtor tem de introduzir diversidade de culturas no sistema vitivinícola para além do enrelvamento. Esta diversidade é intraespecífica, mas observam-se diferenças relevantes entre as diferentes identidades das castas a nível da pigmentação das folhas ou na composição do fruto o que pode ter influência em fatores como a produção e a resistência a pragas e doenças (Tonina et al., 2020; Weißinger et al., 2021).

Hoje em dia, a saúde da videira pode ser monitorizada de forma remota, usando técnicas de teledeteção, como é o caso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). O uso de teledeteção tem potencial para identificar e mapear fatores que influenciam o vigor da vinha,

como a densidade e o pigmento das folhas e permite relacionar este vigor com a produtividade da vinha dependendo das regiões (Mazzetto et al., 2010).

1.6. Métricas de sustentabilidade e indicadores agroecológicos

É essencial que a sustentabilidade e a resiliência sejam quantificadas para percebermos as vulnerabilidades do agroecossistema e guiar a otimização das práticas de gestão agroecológica. Desta forma, é relevante mencionar que não existem métricas universais que permitam medir a resiliência de um sistema porque cada um se insere num contexto muito específico (Peterson et al., 2018). Apesar de serem consideradas, no geral, apenas três dimensões na sustentabilidade, a social, a económica e a ambiental, o estudo da sua avaliação é complexo, tendo sido feitas várias tentativas para a criação de metodologias e índices que avaliam vários indicadores (Triviño-Tarradas et al., 2020).

As metodologias podem variar ao nível da escala e da paisagem em que se aplicam, mas também nas dimensões que cobrem sendo que existem várias abordagens que se especificam em problemas concretos do sistema agrícola, como a qualidade do solo (Salomé et al., 2016) ou a qualidade da água (Juwana et al., 2012). Estas métricas, apesar de nos darem informação sobre algumas componentes importantes do agroecossistema, não espelham a multidisciplinariedade da sustentabilidade. Desta forma, dá-se destaque a três métricas de sustentabilidade e uma de transição agroecológica que abordam várias componentes da sustentabilidade (Tabela 1). A FESLM (*Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management*) desenvolvida pela *FAO (Food and Agriculture Organisation)* (Smyth et al., 1993) é multifacetada e considera que a sustentabilidade não é um conceito sólido, mas que deve ser moldável e adaptável de área para área e ao longo do tempo. Esta abordagem apresenta indicadores-exemplo adequados a diferentes regiões e tipos de agricultura. Posteriormente, esta abordagem foi adaptada sendo selecionados indicadores considerando que um agroecossistema deverá satisfazer as necessidades do produtor e simultaneamente conservar os recursos naturais (Gomez et al., 1996). A métrica de Nicholls *et al.* (2004) pode ser dividida em duas componentes principais a “qualidade do solo” e a “saúde da vinha”. Os indicadores que se inserem nestas componentes foram selecionados em *workshops* com viticultores e produtores de forma a definir que requisitos seriam importantes para a sustentabilidade e têm em conta práticas agroecológicas utilizadas nas explorações (Nicholls et al., 2004). Com base no conceito de *triple bottom line*, o modelo INSPIA (*INitiative for Sustainable Productive Agriculture*) utiliza

BMPs (*Best Management Practices*, ou boas práticas de gestão) estabelecidas das quais originam 31 indicadores básicos que são depois agregados para calcular o valor do índice de sustentabilidade. Os seus indicadores basearam-se noutras métricas de sustentabilidade como a INDIGO® (Bockstaller et al., 1997) ou a SAFE (Van Cauwenbergh et al., 2007) que podem ter diferentes pesos atribuídos por um painel de especialistas. Os indicadores incluem análises à fertilização, às estruturas ecológicas, ao solo, à produtividade, uso de recursos hídricos e energéticos e gases de efeito de estufa (Triviño-Tarradas et al., 2020; Triviño-Tarradas et al., 2019). Por fim, a TAPE (*Tool for Agroecology Performance Evaluation*), criada pela FAO (2019), tem como objetivo analisar o desempenho dos sistemas a nível agroecológico através das dimensões sociocultural, económica e ambiental da sustentabilidade. A TAPE divide-se em 2 passos principais: a CAET (*Characterisation of AgroEcological Transitions*) e os critérios de desempenho. A CAET é uma ferramenta para avaliar a transição das explorações agrícolas para a agroecologia que se baseia nos 10 elementos da agroecologia propostos pela FAO: a diversidade, a partilha de conhecimento, as sinergias, a eficiência, a reciclagem, a resiliência, os valores humanos e sociais, a cultura e as tradições, a governação responsável e a economia solidária e circular (FAO, 2018; FAO, 2019). Tendo em conta que a TAPE é uma ferramenta de avaliação agroecológica, a sua aplicação não se traduz imediatamente em sustentabilidade, mas sim no potencial que uma exploração em para ser gerida agroecologicamente e, a partir daí, atingir a sustentabilidade. Desta forma, são utilizados 34 indicadores em dimensões, como a “diversidade”, “sinergias”, “economia circular”, “cultura e tradições”, “resiliência”, entre outros.

Tabela 1. Tabela com as métricas utilizadas neste trabalho com o número de indicadores base correspondentes e dimensões abordadas. Todas as métricas assumem que quanto maior o valor da métrica, mais sustentável. NS- “Não Sustentável”.

Métrica	Nº de indicadores	Dimensões da sustentabilidade	Medição da sustentabilidade
FESLM	6	Satisfação das necessidades do produtor Conservação de recursos naturais	>1 ou NS
Nicholls <i>et al.</i> (2004)	20	Qualidade do solo Saúde da Vinha	1 a 10
INSPIA	31	Ambiental Social Económica	0 a 100
CAET	34	Multidimensional- 10 elementos da agroecologia (FAO, 2018)	0 a 100

Estas métricas têm vantagens e desvantagens, algumas são de utilização e interpretação fácil para o produtor, como a FESLM ou a de Nicholls *et al.* (2004) e mesmo a CAET. No caso das métricas de Nicholls e da CAET, as escalas utilizadas são maioritariamente visuais, o que facilita a aplicação no campo, mas são muito subjetivas e não têm o rigor e a exatidão que poderão ser necessários para fazer avaliações mais sustentadas, dificultando a sua utilização em todas as condições ambientais. No entanto, outras métricas como a INSPIA, apesar de ser uma métrica bastante detalhada, é complexa de aplicar e de calcular, recorrendo ao uso de fórmulas muito específicas. Em termos de plasticidade das métricas, a CAET e a INSPIA são pouco flexíveis e não dão muito espaço para que se possam inserir ou retirar indicadores conforme as necessidades do produtor, o que pode ser desejável se o objetivo for uma avaliação comparativa de vários sistemas. No caso das métricas de Nicholls e FESLM há essa possibilidade, diferenciando a aplicação com indicadores que sejam mais relevantes para aquela exploração agrícola ou região e permitindo compreender quais são os fatores que podem ser melhorados, dando destaque a problemas emergentes na exploração. A nível de indicadores, a métrica FESLM reduz a satisfação do produtor a fatores económicos e na conservação de recursos naturais descarta as interações *below* e *above-ground*, tocando muito superficialmente na *below-ground*. De forma semelhante, a métrica INSPIA tem uma panóplia de indicadores relacionados com a saúde do solo, mas não existe nenhum com que seja possível inferir sobre relações acima e abaixo do solo. Pelo contrário, na métrica de Nicholls os indicadores são sensíveis a alterações e permitem uma análise dos efeitos das práticas de gestão nos regimes *below* e *above-ground*, dando destaque aos processos dos ecossistemas que ocorrem entre estes. Quanto à aplicação das métricas, duas das métricas de sustentabilidade usam valores limiar, no caso da FESLM os valores limiar são baseados nas médias das comunidades e aplicados a cada indicador individualmente, o que permite que a métrica seja global, mas ao mesmo tempo tenha espaço para distinguir regiões. No caso da INSPIA, se esse valor limiar for ultrapassado pelo valor da métrica, a exploração agrícola considera-se sustentável. Por fim, apenas a métrica de Nicholls foi desenvolvida especificamente para o caso da vinha, tendo em conta problemas emergentes neste tipo de cultura. Apesar disso, a sua plasticidade faz com que possa ser aplicada a outros tipos de agroecossistema. Assim, todas as métricas podem ser utilizadas para diferentes sistemas agrícolas.

Desta forma, e tendo em conta as vantagens e desvantagens das métricas supracitadas, uma métrica de sustentabilidade deve ter em conta características como a fácil aplicabilidade e a facilidade de obtenção de dados para o produtor, não ignorando componentes técnicas que possam dar detalhes importantes sobre as interações entre o solo e a cultura. Integrando, desta forma, a diversidade planeada como a diversidade de castas ou o enrelvamento e a sua gestão e composição, que pode ser manipulado para diferentes efeitos nomeadamente a nível da diversidade associada e também de características que influenciam o *below-ground* como o teor de matéria orgânica, o pH, a regulação de processos do solo e dos canais de decomposição que podem ser quantificados através de bioindicadores. Além disso, deve permitir que haja uma plasticidade de indicadores e considerar a sua ponderação, para que possa ser utilizada em todas as condições sem generalizar os agroecossistemas, dando prioridade a fatores importantes para certas regiões e explorações agrícolas.

1.7. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho foi o de desenvolver uma métrica de sustentabilidade e resiliência de vinha baseada em princípios e indicadores agroecológicos que seja integrativa das componentes ecológicas do agroecossistema, considerando interações *below-ground* e *above-ground*, a EcoVine. Pretende-se inferir sobre a resiliência e a estabilidade da produção vitivinícola de uma exploração agrícola inserida na Região Demarcada do Douro (RDD) confrontando estas componentes com métricas de sustentabilidade publicadas e com a diversidade de castas presentes nos talhões da exploração. A aplicação destas métricas permitirá sensibilizar os produtores e as comunidades da região para os conceitos de sustentabilidade, de agroecologia e de serviços de ecossistema e permitirá deduzir sobre interações que possam ocorrer entre as dimensões *above* e *below-ground*, e também entre as componentes ambiental e económica da sustentabilidade.

Assim, objetivos específicos deste trabalho traduzem-se na aplicação e comparação de métricas a talhões selecionados da Quinta do Seixo de forma a inferir sobre a sua sustentabilidade utilizando um conjunto de indicadores agroecológicos relevantes. Além disto, foi necessário integrar os valores de todas as métricas com os dados de produção da exploração agrícola de forma a averiguar se existe uma relação entre a sustentabilidade e a resiliência/estabilidade de produção, contribuindo para o processo de tomada de decisão por parte dos produtores e acionistas. Por fim, será analisado se a diversidade de castas, aqui vista como um incremento

na biodiversidade planeada neste sistema de cultura perene, presentes nos talhões selecionados influencia os valores das métricas, da produção e da saúde do solo verificando desta forma os impactos da gestão da biodiversidade na produtividade e na sustentabilidade.

Desta forma, espera-se que a EcoVine seja uma métrica equilibrada a nível de componentes *below* e *above-ground* e que tenha aplicabilidade para medir a sustentabilidade de uma vinha. É de interesse que os resultados das métricas sejam semelhantes entre si e que a sustentabilidade se relacione com a produção da exploração agrícola, mas principalmente com a resiliência dessa produção. Por fim, espera-se que a diversidade tenha uma influência relevante na sustentabilidade do sistema, na produção e na sua resiliência tendo em conta que foram mostradas relações relevantes entre a diversidade intra e interespecífica e a produtividade de sistemas agrícolas na literatura.

2. Materiais e métodos

2.1. Descrição da área de estudo – Quinta do Seixo

O estudo foi realizado na Quinta do Seixo, que se localiza em Valença do Douro, no Concelho de Tabuaço, com uma área de vinha de 108ha. Desde 1987 é gerida pela Sogrape Vinhos S.A., sendo que passou por requalificações com o passar dos anos em que foram adquiridas novas parcelas. Nesta exploração agrícola são produzidos Vinhos do Porto e vinhos de mesa (Sogrape Vinhos S.A., 2021).

A Quinta, que se insere na região Cima Corgo, é delimitada pelo rio Douro a norte e oeste e pelo rio Torto a este. Tendo exposição variável, no lado do rio Douro o terreno tem exposição a Norte e Oeste enquanto do lado oposto a exposição é maioritariamente a Este. Estando situado na RDD, a Quinta do Seixo tem declives relevantes que variam entre os 0,43% e os 48,71% e o solo é maioritariamente xistoso. O clima da zona é condicionado pela presença das serras do Marão e de Montemuro que servem como proteção face aos ventos de oeste vindos do Oceano Atlântico (Jones, 2013). Isto faz com que o clima em geral seja ameno e sem grandes amplitudes térmicas; a temperatura média anual é de 18,1 °C (entre 1971 e 2000) sendo que, geralmente, o mês mais quente é agosto e o mais frio janeiro. A nível da precipitação, a total anual é de 740 mm (entre 1971 e 2000) e existe um decréscimo na altura do Verão, após um período de chuvas intensas entre janeiro e março (Varotsos Konstantinos et al., 2021). A área envolvente é principalmente utilizada para a produção vitivinícola, com presença de alguns locais

com florestas ripárias (3,88 ha) na zona do rio Torto, pontualmente alguns olivais (13,64 ha) e pequenos matos (4,95 ha). A Sul encontra-se o centro urbano da freguesia de Valença do Douro com cerca de 11,16 ha (Figura 1) (DGT, 2018). Em termos de área total, a Quinta do Seixo tem cerca de 108 ha dos quais 71ha são ocupados por vinha e destinados à produção.

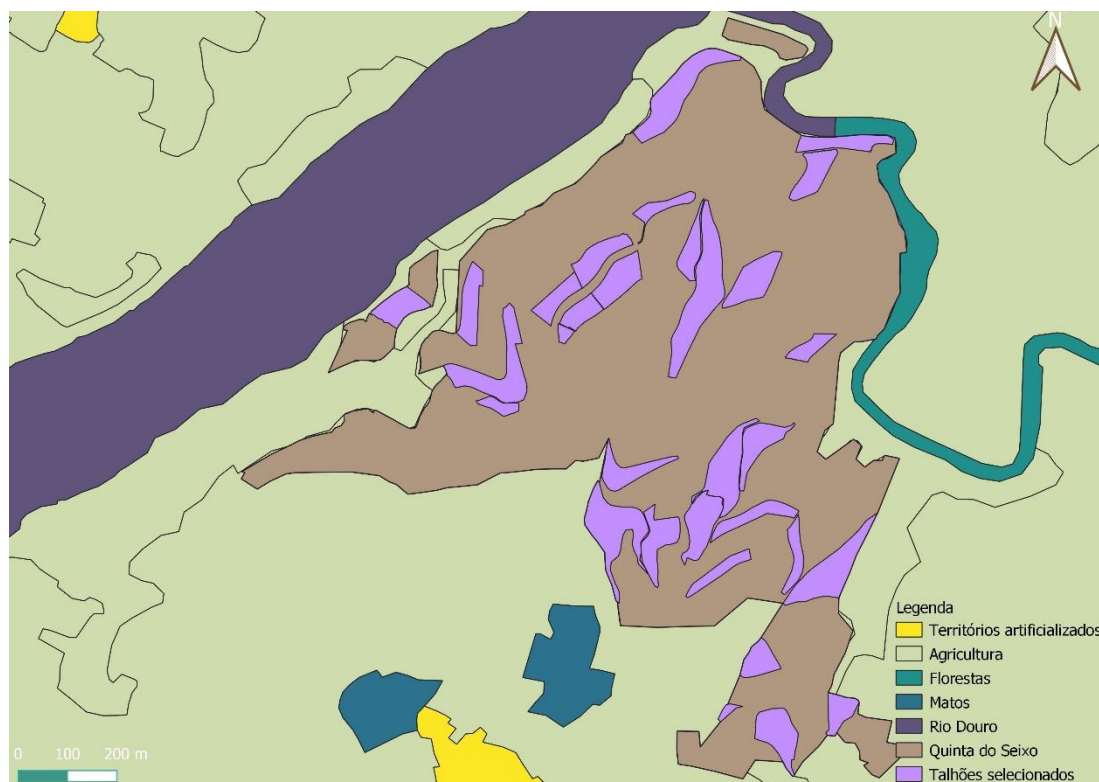


Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo da Quinta do Seixo e área envolvente e indicação da posição dos talhões selecionados para amostragem. CRS: ETRS89

2.1.1. Organização da Quinta e seleção de pontos de amostragem

A Quinta do Seixo organiza-se em parcelas que são compostas por talhões e, dessa forma, a exploração tem 21 parcelas com 156 talhões. Os talhões têm áreas variáveis com diversas castas e são compostos por vinhas com o mesmo modo de gestão e exploração, a mesma forma de condução e porta-enxertos, pelo que os talhões foram utilizados como a unidade base deste trabalho. Cada talhão pode ter plantadas entre uma a cinco castas e outros têm mais de 10 (Figura 2). Para os efeitos deste estudo, foram selecionados talhões com diferentes níveis de diversidade de castas. A base de seleção dos talhões baseou-se na informação cedida pela Sogrape Vinhos S.A. Com o auxílio do programa QGIS (versão 3.16.8, QGIS Development Team 2020), foram selecionados talhões que tivessem números distintos de castas, mas que fossem o mais semelhantes possível em termos de porta-enxertos utilizados e topografia. A identidade das castas dos talhões também foi tida em conta para que os talhões selecionados tivessem uma

sobreposição destas identidades. No final, foram selecionados 31 talhões para amostragem (Tabela A1). As castas em produção e que foram analisadas incluem a Alicante Bouchet, Casculho, Cornifesto, Donzelinho Tinto, Grand Noir, Malvasia Preta, Mourisco, Mourisco Semente, Piriquita, Rufete, Sousão, Tinta Amarela, Tinta Barca, Tinta Barroca, Tinta Francisca, Tinta Roseira, Tinto Cão, Tinto Roriz, Touriga Fêmea, Touriga Franca, Touriga Nacional e Trincadeira Branca.

Estas vinhas foram plantadas sobre declives acentuados e maioritariamente sob o sistema de vinha ao alto ou em patamares de dois bardos. O sistema de condução principal é o Guyot Duplo, uma forma aramada do tronco que faz com que a parede vegetativa da videira nunca ultrapasse 1,8 m. Nos talhões selecionados utilizam-se porta-enxertos vigorosos e resistentes à seca como o 1103-P e o R110 e de vigor médio como o S04, sendo que alguns dos talhões não usam apenas um tipo de porta-enxerto, mas uma combinação de vários. A nível da gestão de recursos hídricos, todas as vinhas são de sequeiro, ou seja, não há irrigação. Em termos de produção, a Quinta segue o modelo certificado de produção integrada com alguns talhões com vinha em modo de produção biológico não-certificado (Sogrape Vinhos S.A., 2021).

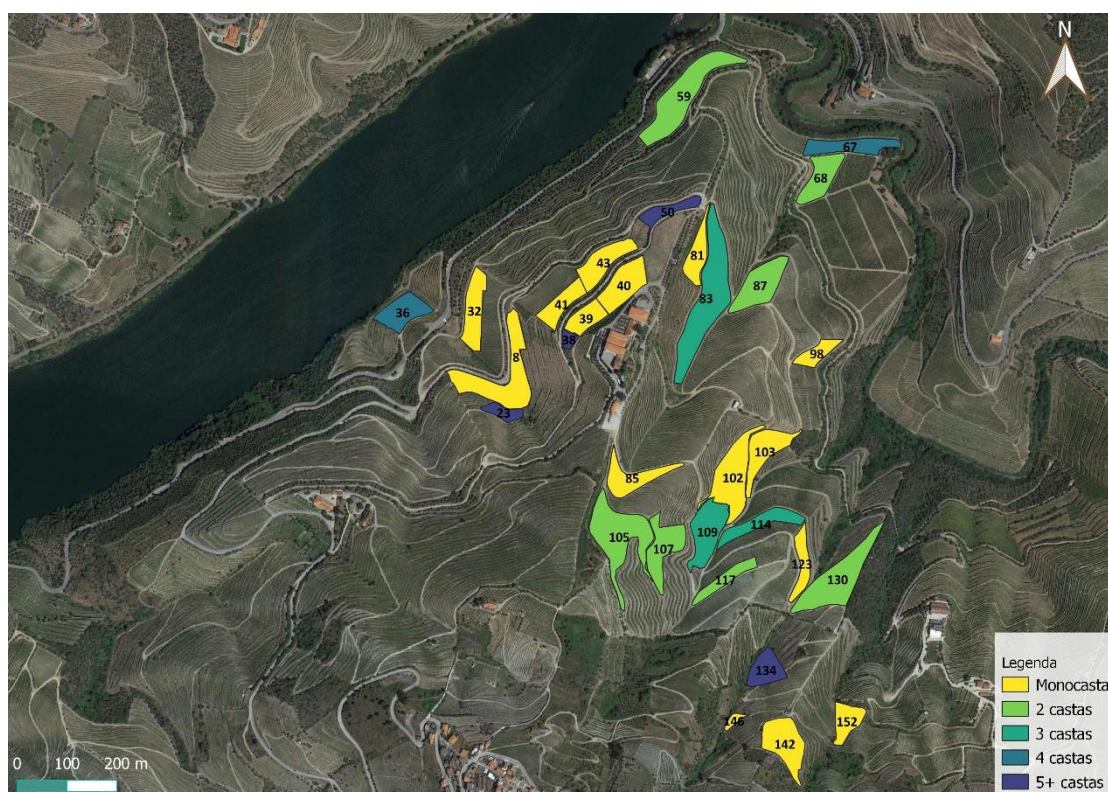


Figura 2. Número de castas de videira plantadas nos talhões selecionados para amostragem na Quinta do Seixo. CRS: ETRS89

2.2. Parâmetros da saúde e qualidade do solo

2.2.1. Amostragem do solo e processamento

A amostragem decorreu no mês de maio de 2021. Em cada talhão foi feita uma colheita aleatória de 5 amostras, feita junto das plantas até, no máximo, 50 cm do tronco.

Para a colheita de solo usou-se uma faca hori com a qual se retirou pelo menos 200 ml de solo até cerca de 10 cm de profundidade. Estas amostras foram depois combinadas em cada talhão e homogeneizadas delicadamente, sendo colocadas em sacos de plástico e transportadas para o laboratório num ambiente escuro e refrigerado, ficando armazenadas numa câmara frigorífica a 4°C até ao seu processamento.

2.2.2. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do solo

Para cada amostra foi determinado o pH, a humidade relativa, a matéria orgânica e a cor do solo através de adaptações de diferentes protocolos existentes.

Para análise do pH, desidrataram-se as amostras à temperatura ambiente durante 48h. Posteriormente, recolheu-se 10 g de solo de cada amostra às quais se juntaram 20 ml de água destilada. A mistura foi agitada durante uma hora e os valores de pH foram medidos com uma sonda portátil de pH (SERAS, 2002).

Quanto à humidade relativa do solo, usaram-se cadinhos onde se colocaram 30 g de solo de cada local de amostragem. Depois estes suportes foram colocados numa estufa a 80 °C durante 48h de forma a eliminar toda a água que pudesse estar presente nas amostras. Para finalizar, as amostras foram retiradas da estufa e pesadas de forma a determinar a percentagem de humidade relativa através da diferença entre o peso de solo húmido e seco (Kramarenko et al., 2016; O'Kelly, 2004).

Para determinar o teor de matéria orgânica, as amostras de solo que foram secas para determinação da humidade relativa foram incineradas numa mufla a 500 °C durante um período de 4h. Posteriormente, foram colocadas num exsiccador e pesadas para determinar, pela diferença de peso do solo seco e incinerado, a percentagem de matéria orgânica (Kristensen & Ø.Andersen, 1987).

Foi também feita uma análise visual das amostras a nível da sua cor com base no protocolo de Nicholls *et al.* (2004). As amostras foram colocadas à luz natural e classificadas numa escala de 1 (solo pálido/claro) a 10 (solo castanho-escuro).

O parâmetro de atividade microbiológica foi medido também para cada amostra, adaptando para utilização no laboratório uma técnica desenvolvida para aplicação no campo. Este método foi baseado no descrito em Nicholls *et al.* (2004) em que se aplica peróxido de hidrogénio (H_2O_2) ao solo e se quantifica a efervescência resultante como *proxy* de atividade microbiológica. Foram transferidos 10 ml de solo de cada amostra para tubos de plástico, aos quais se adicionaram ao mesmo tempo 15 ml de H_2O_2 a 3%, sendo a efervescência observada ao fim de 5 minutos e classificada em valores de 1 a 10, de acordo com a sua intensidade.

2.2.3. Extração e identificação de nemátodes

A partir das amostras do solo provenientes dos 31 talhões, procedeu-se à extração de nemátodes, a partir de 3 réplicas, usado o método do tabuleiro (Whitehead & Hemming, 1965). Este método é simples, mas eficiente para extrair nemátodes móveis presentes no solo (Coyne et al., 2007).

O procedimento iniciou-se colocando 100 ml de solo sobre papel absorvente numa rede plástica de malha grosseira de 1 cm, dentro de um tabuleiro. Em seguida foi adicionada água ao tabuleiro de extração de forma a deixar o solo inundado, os tabuleiros foram tapados para evitar perdas de água por evaporação e deixados a repousar durante 72h à temperatura ambiente, permitindo a migração dos nemátodes do solo para a água através do papel, e sua retenção no fundo do tabuleiro.

Após o período de extração, a suspensão de nemátodes foi passada por um crivo com um poro de 20 μ m com o objetivo de concentrar os nemátodes num volume reduzido de água (cerca de 20 ml) e o solo foi descartado. As amostras foram guardadas em frascos de 50 ml num frigorífico a 4°C até serem observadas ao microscópio.

2.2.4. Observação, identificação e contagem de nemátodes do solo

Os nemátodes foram observados ao microscópio invertido (Leica DMI1) usando ampliações que variavam entre os 50 e 400x.

A identificação taxonómica foi feita até à Família, ou até ao Género no caso dos nemátodes herbívoros, para pelo menos os 100 primeiros nemátodes de cada amostra, sendo que foram feitas 3 repetições para cada uma destas. Foram usadas chaves simplificadas para a identificação dos nemátodes (Ferris, 2011; Goodey & Goodey, 1951; Mai et al., 2005). Sendo assim obtidas as proporções dos nemátodes por Família/Género, os restantes nemátodes foram

apenas contabilizados para que fosse possível calcular as abundâncias estimadas por Família ou por Género.

2.2.5. Cálculo de índices ecológicos e pegadas metabólicas da comunidade de nemátodes

Para obter índices ecológicos e pegadas metabólicas das comunidade de nemátodes, recorreu-se à ferramenta *online* NINJA (*Nematode INdicator Joint Analysis*) (Sieriebriennikov et al., 2014). A análise foi realizada a partir das abundâncias das famílias de nemátodes presentes nas amostras.

A partir deste *software* foram obtidos os índices de Estrutura (SI) e de Enriquecimento (EI). Com estes índices é possível fazer um perfil faunístico do solo, que é uma representação gráfica da condição da rede trófica do solo baseada nos grupos funcionais, grupos tróficos e estratégia colonizador-persistente (cp) a que pertencem as diferentes famílias de nemátodes (Ferris et al., 2001). O índice de Estrutura calculou-se segundo a fórmula,

$$SI = 100 \times \frac{s}{s + b}$$

Em que “*s*” indica a abundância dos nemátodes pertencentes aos grupos cp3-5, que estão associados à estrutura da rede trófica. Já “*b*” corresponde à abundância de nemátodes de condição basal em que se incluem todos os nemátodes de vida livre cp2. O índice de Enriquecimento, que nos dá a localização da rede trófica na trajetória de enriquecimento do solo, calculou-se segundo a fórmula,

$$EI = 100 \times \frac{e}{e + b}$$

Em que “*e*” corresponde à abundância de nemátodes Bacterívoros do grupo cp1 e Fungívoros do grupo cp2, que são indicadores de enriquecimento, e “*b*” representa o mesmo que na fórmula anterior (Ferris et al., 2001).

As pegadas metabólicas têm uma componente de produção, que se relaciona com o crescimento e a reprodução, e outra respiração, que está ligada à utilização de C na atividade metabólica e influencia as funções desempenhadas. Assim, também com o auxílio do software NINJA, foram calculadas as pegadas metabólicas de estrutura (SF), de enriquecimento (EF) e de cada um dos grupos tróficos dos nemátodes incluindo a pegada de herbivoria (HF). A fórmula para calcular a pegada metabólica (F) é independente do seu tipo e representa-se desta forma,

$$F = \sum (Nt \left(0.1 \left(\frac{Wt}{mt} \right) + 0.273(Wt^{0.75}) \right))$$

em que “ Nt ” representa o número de indivíduos de nemátodes considerados, “ Wt ” é a biomassa corporal e “ mt ” é a classificação cp de cada taxon (Ferris, 2010).

Os valores das pegadas foram transformados com $\log(x + 1)$ e foram realizados gráficos de radar que combinam as pegadas metabólicas de diferentes grupos tróficos presentes nos talhões com diferentes números de castas.

Para além disto, a partir da área de SF e EF, pode-se calcular a pegada funcional da rede alimentar do solo. Estas foram incluídas na representação dos perfis faunísticos como expansão aos índices de estrutura e de enriquecimento, delimitando um romboide cujas coordenadas no eixo x foram calculadas da seguinte forma,

$$SI - 0.5Fs/k \text{ e } SI + 0.5Fs/k$$

sendo que “ Fs ” é a pegada metabólica de estrutura. Quanto às coordenadas do eixo y,

$$EI - 0.5Fe/k \text{ e } EI + 0.5Fe/k$$

em que “ Fe ” representa a pegada metabólica de enriquecimento (Ferris, 2010). A constante k foi ajustada de forma a facilitar a visualização e comparação da informação entre conjuntos de dados. A representação gráfica das pegadas funcionais da condição do solo (Figura 3) divide-se em quatro quadrantes: o 1º quadrante (A) que se caracteriza por um ecossistema rico em azoto, com perturbações elevadas a nível da rede trófica do solo e com o canal bacterívoro como preferencial nos processos de decomposição; o 2º quadrante (B) em que se inserem ecossistemas também ricos em azoto, que sofrem de poucos distúrbios e têm uma rede trófica a amadurecer a nível de estrutura, os canais de decomposição são equilibrados com fungívoros e bacterívoros; o 3º quadrante (C) é o quadrante com as melhores condições, não existem distúrbios, não há demasiados nutrientes no solo e a rede trófica é estruturada; por fim, o 4º quadrante (D), caracteriza ambientes influenciados pelo *stress*, pobres em nutrientes e com redes tróficas do solo degradadas (Ferris et al., 2001).

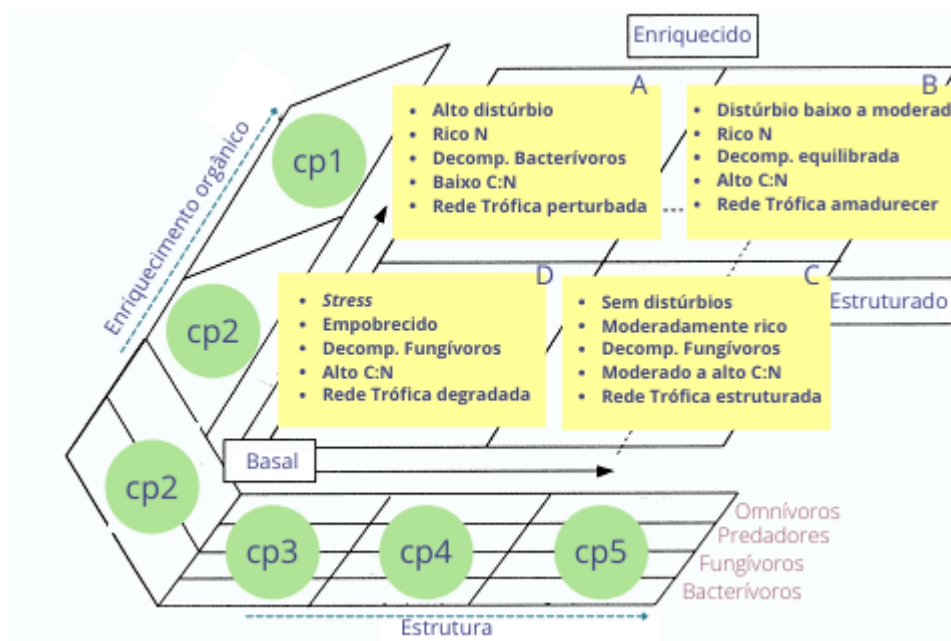


Figura 3. Diagrama geral das características de cada quadrante (A-D) do perfil faunístico do solo. As guildas funcionais dos nemátodos estão representadas pelo seu grupo trófico e pela sua escala "cp", informando também sobre o estado da condição da rede trófica do solo. Baseado em Ferris et al. 2001.

2.3. Análise da complexidade de infraestruturas ecológicas e processamento

2.3.1. Infraestruturas ecológicas

A informação sobre a presença ou ausência de infraestruturas ecológicas na Quinta do Seixo foi fornecida pela Sogrape Vinhos S.A., sendo complementada com observações em campo à data da amostragem de solo. Nestas infraestruturas incluíram-se a presença de enrelvamento, linhas de água, muros, sebes, galerias ripícolas e outras culturas como a oliveira. Tendo em conta a presença destas estruturas, foram criados graus de complexidade que se incluíram numa escala de 0 (sem nenhum tipo de infraestrutura) a 5 (elevada complexidade).

No caso dos enrelvamentos foi criada uma escala de 0 a 2, em que se teve em conta se não existia enrelvamento (0), se este era semeado (1) ou espontâneo (2). Para complementar este fator importante no estudo da agroecologia foi feito um levantamento da diversidade e cobertura florística presente no estrato herbáceo dos talhões amostrados.

2.3.2. Diversidade e cobertura florística do enrelvamento

Durante a amostragem no mês de maio de 2021, para além das amostras de solo, foi feito um levantamento da flora presente na generalidade do enrelvamento entre linhas de vinha para cada talhão identificando até à espécie, sempre que possível. É importante referir que existiam talhões que não tinham enrelvamento ou em que este fora cortado, impossibilitando a análise deste

parâmetro. Os espécimes que não foram identificados em campo, foram colhidos e trazidos para o laboratório para posterior identificação com o auxílio da plataforma Flora-On (2014).

As plantas foram ainda classificadas como: “*Grasses*”, que são monocotiledóneas capazes de gerar grandes quantidade de compostos orgânicos, pertencentes à família Poaceae e comumente chamadas de gramíneas; “*Legumes*”, que se associam a rizóbios capazes de fixar azoto (N), pertencentes à família Fabaceae e comumente chamadas de leguminosas; ou “*Forbs*” que incluem várias famílias e são consideradas todas as plantas herbáceas para além das gramíneas e das leguminosas (McGourty & Reganold, 2005). A técnica utilizada para esta amostragem foi o método do quadrado (Baxter, 2014), realizaram-se 3 repetições em que se fez o levantamento da percentagem (%) de cobertura e a classificação das plantas presentes segundo os três grupos supracitados.

Com base nas informações colhidas em campo foram calculadas, a Riqueza (S) de espécies e os índices de Shannon (H'), de Margalef (D) e de equitabilidade de Pielou (E) em cada talhão e também, as proporções das percentagens de cobertura de *Grasses*, *Legumes* e *Forbs*.

2.4. NDVI e Clima

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é um dos índices de vegetação mais conhecidos sendo um indicador da biomassa verde, ou seja, da produção primária, cujo valor pode ser obtido através de dados de satélite ou aéreos. A equação para o seu cálculo é a seguinte:

$$NDVI = \frac{\text{infra vermelho próximo} - \text{vermelho}}{\text{infra vermelho próximo} + \text{vermelho}}$$

esta equação refere-se a comprimentos de onda de cada pixel das imagens recebidas. Este índice varia entre -1 e 1: quanto mais próximo de 1, maior será a atividade fotossintética; já com valores próximos do -1 a atividade fotossintética é pouca ou nula e normalmente correspondem a locais com solo nu, água ou edifícios (Lamb et al., 2001).

Os dados de NDVI foram cedidos pela Sogrape Vinhos S.A. Durante o 2021, os valores do índice foram obtidos através de veículos aéreos não tripulados (*drones*). Os dados foram tratados com o programa QGIS (versão 3.16.8, QGIS *Development Team* 2020), onde foi feita a média do NDVI para cada talhão selecionado.

A Quinta do Seixo tem uma estação meteorológica associada, que permitiu obter os dados de condições climáticas locais como temperaturas média/mínima/máxima e valores de precipitação. A informação foi de 2014 a 2020 e foi comparada com valores de referência em Vila Real, a estação meteorológica de referência mais próxima.

2.5. Produção e estabilidade

Os valores de produção de uva (em kg) da Quinta do Seixo entre 2014 e 2020 foram também fornecidos pela Sogrape Vinhos S.A. Para minimizar as diferenças entre talhões e, sendo que a plantação das videiras é intercalada com corredores, os valores de produção foram divididos pelo número de videiras presentes e não pela área total do talhão.

De forma a inferir sobre a resiliência e estabilidade da produção, foi feito o cálculo do Desvio Padrão associado ao valor médio de produção de cada talhão ao longo dos anos (Tabela A2).

2.6. Cálculo de métricas de sustentabilidade

Tendo em conta que a sustentabilidade e a resiliência são conceitos interligados, consideramos neste trabalho, o cálculo de métricas de sustentabilidade de forma a inferir sobre a resiliência do sistema. Assim, de forma a haver um termo de comparação em relação à métrica criada para a Quinta do Seixo, a EcoVine, foram utilizadas quatro métricas publicadas com base em princípios agroecológicos e sustentáveis, nomeadamente a FESLM, a Nicholls, a INSPIA e a CAET. Tendo em conta as quatro métricas consideradas têm uma panóplia de indicadores para os quais não havia dados disponíveis, as métricas foram avaliadas apenas com os dados obtidos como descrito acima. Assim, os indicadores que não foram avaliados, foram omitidos das fórmulas de cálculo final das métricas ou substituídos por indicadores disponíveis para os mesmos parâmetros. Descreve-se de seguida a aplicação de cada uma das métricas aos talhões em análise da Quinta do Seixo.

2.6.1. FESLM (*Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management*)

A métrica de sustentabilidade baseada no FESLM (Gomez *et al.*, 1996) foi idealizada com o intuito de ser simples e avaliar a sustentabilidade ao nível da exploração agrícola, sendo aqui aplicados ao nível do talhão de acordo com os dados recolhidos e com fins comparativos.

As dimensões consideradas nesta métrica são a “Satisfação do produtor” e a “Conservação de recursos” em que se inserem indicadores (Tabela 2) que são estimados como sustentáveis se excederem, na sua pontuação, um valor limiar estipulado para cada um deles.

Tabela 2. Métrica Framework for the Evaluation of Sustainable Land Management (FESLM): indicadores utilizados em Gomez et al. (1996) divididos por dimensão “Satisfação do Produtor” e “Conservação de recursos” com respetivas fórmulas de valor limiar e indicadores usados no cálculo da métrica para a Quinta do Seixo. A- Aplicado NA-Não Aplicado.

Indicadores Originais	Fórmula valor limiar	Indicadores Utilizados
Produção	$1,2 \times \bar{x}$	A
Lucro	$1,2 \times \bar{x}$	NA
Frequência de quebras de produção	$0,2 \times \bar{x}$, quando $\bar{x} > 0,3$ se não, apenas $\bar{x}$	A
Profundidade do Solo	$\bar{x}$ ou 50 cm, o que for maior	A
Carbono (C) orgânico	$0,01 \times \bar{x}$, quando $\bar{x} < 0,01$; se não	A
	apenas a $\bar{x}$	
Cobertura do solo	$0,15 \times \bar{x}$, quando $\bar{x} < 0,15$; se não	A
	apenas a $\bar{x}$	

Alguns dos indicadores utilizados foram calculados a partir de dados obtidos como a Frequência de Quebra de Produção, em que os valores de produção foram transformados em percentagem (%) e comparados de ano para ano de forma a verificar se existiam quebras superiores a 20%, este valor limiar foi estipulado por Gomez *et al.* (1996) como sendo um valor que é considerado uma melhoria na média da comunidade. A profundidade do solo foi considerada a mesma em todos os talhões e baseada na literatura que estipula que em solos xistosos, a profundidade do solo é cerca de 30 cm (Magalhães, 2012). Por fim, o último indicador calculado foi o Carbono Orgânico, que pode ser obtido a partir do teor de Matéria Orgânica do solo (Nelson & Sommers, 2018).

Na métrica de FESLM, o valor final depende do cálculo dos índices das dimensões “Satisfação do Produtor” e “Conservação de Recursos”, que se calculam aplicando as fórmulas de valor limiar aos respetivos indicadores e fazendo a média dos indicadores utilizados.

Para o sistema ser considerado sustentável, as médias de ambos os índices têm de ser iguais ou superiores a 1. Se isso acontecer, o passo seguinte é calcular a média dos 2 índices para obter o valor da métrica de sustentabilidade, desta forma o valor é sempre positivo e quanto mais alto, mais sustentável será o sistema (Gomez et al., 1996).

2.6.2. A Rapid, Farmer-Friendly Agroecological Method to Estimate Soil Quality and Crop Health in Vineyard Systems

Esta avaliação da qualidade do solo e da videira foi também construída de forma a ser simples, rápida e facilmente aplicada no campo por produtores através de indicadores agroecológicos (Nicholls et al., 2004).

A métrica divide-se em duas componentes, a componente da qualidade do solo e a de saúde da vinha, da mesma forma que a métrica anterior, cada componente tem um conjunto de indicadores associado a ela (Tabela 3). Estes indicadores são avaliados individualmente numa escala de 1 a 10 previamente definida, sendo 1 o valor menos desejado e 10 o melhor possível.

Da mesma forma que na métrica anterior, alguns indicadores foram calculados com base em informação já obtida nomeadamente a profundidade, da mesma forma que na métrica FESLM; os resíduos e a erosão foram obtidos através da observação de fotografias tiradas em campo; a cor em que as amostras foram classificadas através de fotografias tiradas durante a análise físico-química do solo; e por fim a abundância de inimigos em que foi usada a pegada metabólica de herbivoria obtida através da análise da comunidade de nemátodes que é um indicador de pressão de herbivoria geral no sistema.

O cálculo da métrica é simples e passa por fazer a média aritmética dos indicadores avaliados permitindo uma avaliação comparativa dos sistemas e relativizar a sua sustentabilidade; quanto maior o seu valor, mais sustentável é o sistema.

Tabela 3. Métrica de Nicholls et al. (2004) com indicadores originais e indicadores usados no cálculo da métrica para a Quinta do Seixo. A- Aplicado NA-Não-Aplicado

Componente	Indicadores Originais	Indicadores utilizados
Qualidade do Solo	Estrutura	NA
	Compactação	NA
	Profundidade	A
	Resíduos	A
	Cor	A
	Humidade	A
	Cobertura do Solo	A
	Erosão	A
	Invertebrados	NA
	Atividade Microbiológica	A
Saúde da Vinha	Aparência	A
	Crescimento da Cultura	A
	Incidência de doenças	NA
	Incidência de pragas de insetos	NA
	Abundância de inimigos e sua diversidade	A
	Competição e pressão de "ervas daninha"	A
	Produção	A
	Diversidade vegetacional	A
	Vegetação natural circundante	A
	Sistema de gestão	A

2.6.3. INSPIA (*Initiative for Sustainable Productive Agriculture*)

O índice composto baseado na INSPIA (*Initiative for Sustainable Productive Agriculture*) considera 3 dimensões de sustentabilidade segundo a abordagem *triple-bottom-line*, que compreende a face económica, a social e a ambiental (Trivino-Tarradas et al., 2019). Ao todo, fazem parte desta métrica, 31 indicadores básicos de sustentabilidade (Tabela 4) com diferentes ponderações que depois são agregadas em componentes que se inserem nas dimensões que compõem o índice final.

Tabela 4. Métrica Initiative for Sustainable Productive Agriculture (INSPIA) com indicadores originais e os indicadores usados no cálculo da mesma métrica para a Quinta do Seixo. A-Aplicado NA- Não aplicado

Indicadores Originais	Indicadores utilizados
Lucro líquido/ha	NA
Lucro líquido/unidade de trabalho	NA
Custo de produção/ha	NA
Produção	A
Produtividade N	A
Produtividade P	A
Rega	A
Produtividade água	A
Balanço de energia	NA
Eficiência energética	NA
Produtividade energética	NA
Horas de trabalho/ha	NA
Satisfação	NA
Nível de treino do Produtor	NA
Risco de abandono	NA
índice de lavoura do solo	NA
Cobertura do Solo	NA
Matéria orgânica	A
Risco de erosão do solo	NA
Diversidade de culturas	A
Rotação de culturas	A
Balanço de N	NA
Eficiência de N	NA
Balanço de P	NA
Eficiência de P	NA
Balanço de GEE	NA
GEEs/kg	NA
Área Natural	NA
Estruturas de Biodiversidade	A
Zonas tampão e de segurança	NA
Gestão pesticidas	NA

A métrica foi adaptada e aplicada a todos os talhões selecionados da Quinta do Seixo, assim, cada talhão teve um valor de sustentabilidade associado a ele. Esta métrica segue o modelo de quanto maior o valor, melhor é para a exploração, tendo um valor limiar de sustentabilidade associado a ela, sendo que acima do valor 67 o sistema é considerado sustentável.

2.6.4. CAET

A CAET (Characterization of AgroEcological Transition), como mencionado anteriormente, é a primeira componente da TAPE (Tool for Agroecology Performance Evaluation) da FAO. Esta métrica, não é um índice de sustentabilidade no sentido lato, mas avalia se o sistema segue princípios agroecológicos na sua gestão e organização. Esta caracterização baseia-se em 10 elementos da agroecologia propostos pela FAO (FAO, 2018), estes elementos são então usados para definir indicadores semi-quantitativos (Tabela 5) que se classificam numa escala de 0 a 4 (FAO, 2019).

Para calcular a métrica, somam-se os valores dos indicadores de cada elemento e transforma-se essa soma em percentagem. O cálculo do valor final é a média de cada dimensão permitindo uma análise comparativa dos diferentes sistemas.

Tabela 5. Métrica Characterization of AgroEcological Transition (CAET) e elementos agroecológicos em que se inserem bem como indicadores originais e os utilizados no cálculo da mesma métrica para a Quinta do Seixo. A-Aplicado NA- Não aplicado

Elementos	Indicadores	Indicadores utilizados
Diversidade	Culturas	A
	Animais	A
	Árvores	A
	Diversidade de atividades	A
Sinergias	Integração de culturas agrícolas com pecuária	A
	Sistema planta/solo	A
	Integração com árvores	A
	Integração na paisagem	A
Eficiência	Inputs externos	A
	Fertilidade do solo	A
	Pragas e doenças	A
	Produtividade e necessidades	NA
Reciclagem	Reciclagem de biomassa e nutrientes	A
	Poupança de água	NA
	Gestão de sementes	NA
	Produção de energia renovável	NA
Resiliência	Estabilidade de produção	A
	Vulnerabilidade	NA
	Dívida	NA
Cultura e tradição	Dieta e Nutrição	NA
	Identidade local	NA
	Variedades locais	A
Dispersão de conhecimento	Transferência de boas práticas	NA
	Conhecimento agroecológico	NA
	Organizações	NA
Valor humano e social	Mulher	NA
	Condições de trabalho	NA
	Juventude e emigração	NA
Economia circular e solidária	Produtos locais	NA
	Relação com consumidor	NA
	Sistema alimentar	NA
Tomada de decisão	Produtor	NA
	Associações	NA
	Tomada de decisão	NA

2.7. Métrica EcoVine

Tendo em conta o estudo destas métricas e tendo em vista os conceitos de sustentabilidade e agroecologia, criou-se uma métrica de sustentabilidade, a EcoVine que se baseou nos valores de um grande conjunto de indicadores aqui recolhidos ou disponibilizados pela Sogrape, referentes à Quinta do Seixo.

A métrica teve em conta estes conceitos, e ainda outros supracitados na secção 1.4 para seleccionar as variáveis a analisar para a construção de uma métrica de sustentabilidade final. Assim, foram seleccionadas duas dimensões ambientais para sustentabilidade: a *below-ground* onde se inserem a saúde e a qualidade do solo; e *above-ground* onde se incluem a complexidade de infraestruturas ecológicas e ainda o NDVI (Tabela 6).

Tabela 6. Dimensões da sustentabilidade usadas na EcoVine e indicadores correspondentes.

Dimensão	Indicadores
<i>Below-ground</i>	Matéria Orgânica
	pH
	Humidade
	Atividade microbológica
	Comunidade de nemátodes
<i>Above-ground</i>	Infraestruturas de apoio à biodiversidade
	Gestão de enrelvamento
	Levantamento Florístico
	NDVI de 2021

2.8. Tratamento de dados

2.8.1. Desenvolvimento da métrica EcoVine

2.8.1.1. Seleção de indicadores

Apesar das variáveis analisadas supracitadas serem relevantes no mosaico que é um ecossistema, averiguou-se inicialmente que variáveis seriam melhores indicadores dos processos *above* e *below-ground*, para simplificar a aplicação da métrica. Para isso foram feitas duas PCAs (*Principal Component Analysis*), uma para a componente *below-ground* da métrica e outra para a componente *above-ground* de forma a verificar que variáveis tinham mais peso. As PCAs foram realizadas no programa PAST (Hammer et al., 2001).

Na componente *below-ground* foram usadas variáveis como o teor de matéria orgânica, o pH, a atividade microbiológica e a humidade, que são importantes para o funcionamento do ecossistema de solo. Para além destas, foram usados dados obtidos através da análise da comunidade de nemátodes como a pegada metabólica de herbivoria e as pegadas metabólicas de enriquecimento e de estrutura que são espelho da pressão de herbivoria, dos canais de decomposição e da regulação do solo, respetivamente (Tabela 7).

Tabela 7. Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais, respeitantes à componente *below-ground* do sistema, com o correspondente tipo e unidade.

Variáveis	Tipo	Unidades
Matéria Orgânica	Contínua	%
pH	Contínua	-
Humidade	Contínua	%
Pegada de Enriquecimento	Contínua	C/mg
Pegada de Estrutura	Contínua	C/mg
Pegada de Herbivoria	Contínua	C/mg
Atividade Microbiológica	Ordinal	-

Na componente *above-ground*, foram utilizadas variáveis medidas acima do solo como a complexidade de infraestruturas ecológicas, o NDVI do ano de 2021 e outras relacionados com o enrelvamento como a sua gestão, a riqueza, a cobertura e a percentagem de *grasses*, *legumes* e *forbs* (Tabela 8).

Tabela 8. Variáveis utilizadas na Análise de Componentes Principais, respeitantes à componente *above-ground* do sistema com o correspondente tipo e unidade.

Variáveis	Tipo	Unidade
Complexidade de infrast. Ecológicas	Ordinal	-
Gestão do enrelvamento	Ordinal	-
Riqueza enrelvamento	Discreta	-
Cobertura de enrelvamento	Contínua	%
<i>Grasses</i>	Contínua	%
<i>Legumes</i>	Contínua	%
<i>Forbs</i>	Contínua	%
NDVI de 2021	Contínua	-

Para realizar a PCA corretamente e porque os dados tinham diferentes escalas e variação associada, os dados foram padronizados usando o *Z-score*,

$$Z - score = \frac{\text{Variável} - \text{Média Aritmética}}{\text{Desvio Padrão}}$$

de forma que as variáveis tivessem todas uma média de 0 e um desvio padrão de 1.

Com os resultados da PCA, foi estipulado um valor limiar, para a seleção de componentes este foi de 15% de variância explicada para cada componente, de forma que as componentes principais selecionadas explicassem pelo menos 65% da variância; já para a escolha das variáveis com maior *loading*, este foi de 0,4 (Laishram et al., 2012). As variáveis que ultrapassaram o valor limiar foram selecionadas e com elas foram feitas correlações de Spearman para verificar se existia colinearidade entre elas. Desta forma, foram selecionados os indicadores eliminando aqueles que se auto-correlacionavam, o que poderia influenciar o seu peso na métrica final.

2.8.1.2. Cálculo da métrica de sustentabilidade

O cálculo da métrica passou por considerar as variáveis selecionadas da PCA como indicadores relevantes da sustentabilidade. Sendo assim, de forma a simplificar o cálculo da métrica e tendo em conta que os sistemas *above e below-ground* estão intrinsecamente relacionados, o cálculo da métrica considerou uma ponderação de 50/50% para estes. Desta forma, a fórmula de cálculo foi,

$$Métrica = \frac{(0,5 \times índice\ below) + (0,5 \times índice\ above)}{2}$$

Em que o índice *below-ground* e o índice *above-ground* foram calculados separadamente utilizando as variáveis que mais contribuem para cada sistema. No cálculo, as variáveis foram transformadas em proporção e divididas pela sua média. Isto fez com que o valor limiar a ultrapassar de ambos os índices seja 1 e que os índices tenham escalas semelhantes.

2.8.2. Produção e sua estabilidade

Para cada métrica de sustentabilidade, incluindo a EcoVine, obtiveram-se valores para cada um dos talhões selecionados, a partir dos quais se calcularam os valores das grandes médias. Isto permitiu estipular um valor limiar nas métricas que não o tinham de forma a facilitar a comparação das métricas de sustentabilidade dos talhões. Posteriormente, foi averiguada a relação entre os valores das métricas e os dados da “Produção do ano 2020”, “Produção média” e “Desvio padrão da produção” através de correlações de Spearman no programa PAST (Hammer et al., 2001). Além disto, foram também realizadas correlações de Spearman entre as

métricas, de forma a verificar se estas se autocorrelacionavam. No caso da EcoVine, foram feitas também correlações entre ambas as componentes *below* e *above-ground*.

2.8.3. Diversidade de Castas

Foi aplicado um Modelo Linear Generalizado (*generalised linear model, glm*) assumindo um modelo de distribuição normal e função de ligação de identidade com o auxílio do programa R e dos *packages* “agricolae” (de Mendiburu, 2021), “DescTools” (Signorell, 2021) e “multcomp” (Hothorn et al., 2008), para verificar a influência do número de castas presentes dos talhões selecionados quer nos valores das métricas de sustentabilidade, quer nos valores de produção. Nos casos em que as diferenças fossem significativas, realizou-se o *post hoc* LSD (*Least Significant Difference*) para verificar se os grupos de castas com métricas de sustentabilidade eram significativamente diferentes.

3. Resultados

3.1. Análise das componentes *Below-ground*

Na componente *below-ground* do estudo, foram analisados parâmetros físico-químicos e fatores funcionais do solo inferidos das comunidades de nemátodes em que se incluem pegadas metabólicas importantes na análise da performance de funções como a pressão de herbivoria, a decomposição e a regulação das redes tróficas do solo.

3.1.1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos do solo

Os valores referentes às análises de humidade relativa do solo, matéria orgânica e pH encontram-se apresentados em anexo (Tabela A3). A percentagem de humidade foi baixa na generalidade, mas muito variável entre os talhões, sendo que o seu valor mais alto foi apresentado no talhão 134 (15,10%) e o valor mínimo foi verificado no talhão 50 com 3,82%. Quanto ao teor de matéria orgânica, nos talhões 98 e 130 ocorreu uma falha técnica durante a medição pelo que os seus valores foram elevados, mas não considerados. Tendo isto em conta, o valor mais alto dos talhões selecionados foi encontrado no talhão 134 (7,79%) e o mais baixo no talhão 41 (2,35%). Por fim, na análise do pH verificou-se o oposto dos dados da matéria orgânica, em que o valor mais alto foi o do talhão 41 com 7,64, um solo perto do pH neutro e o mais baixo no talhão 134 com um solo mais ácido, de 4,95.

A medição da atividade microbiológica do solo baseou-se numa escala de 1 a 10 (Nicholls et al., 2004), os resultados estão apresentados em anexo (Tabela A4). Vários talhões tiveram a

pontuação mais alta, nomeadamente os talhões 41 (com teor de matéria orgânica mais baixo e pH mais alto) e o 8, com apenas uma casta; o 68 e o 105, com duas castas; o 109 e o 83, com três castas e o 23, com dezoito castas. O valor mais baixo, 3 valores, foi verificado no talhão 67, que tem quatro castas.

3.1.2. Análise das comunidades de nemátodes

Nos 31 pontos de amostragem da Quinta do Seixo foram contabilizados um total de 93802 nemátodes e destes foram identificados 11460 indivíduos pertencentes a 24 famílias e a 5 grupos tróficos (fungívoros, bacterívoros, herbívoros, omnívoros e predadores) (Tabela A5).

3.1.2.1. Abundância das comunidades de nemátodes

De um modo geral, na comunidade de nemátodes dos vários talhões, não se detetou uma proporção relevante de nemátodes herbívoros. Apesar de haver alguns talhões com maior abundância deste grupo trófico, predominavam nemátodes ligados às cadeias de decomposição (bacterívoros e fungívoros), sendo menos abundantes os nemátodes pertencentes a níveis tróficos de topo (omnívoros e predadores). O grupo trófico prevalente na totalidade das amostras foi o dos fungívoros, sendo que as famílias presentes em todos os talhões eram a Aphelenchidae e a Aphelenchoididae, ambas cp2, que habitam numa diversidade enorme de habitats, mesmo que estes estejam impactados. Outras famílias que também se apresentaram em todos os talhões foram as dos bacterívoros nomeadamente a Cephalobidae, que são cp2. Pristomatolaimidae e a Teratocephalidae da guilda Ba3, mais seletivas e que apareceram em sistemas mais ricos. O grupo trófico menos abundante foi o dos omnívoros (Figura 4).

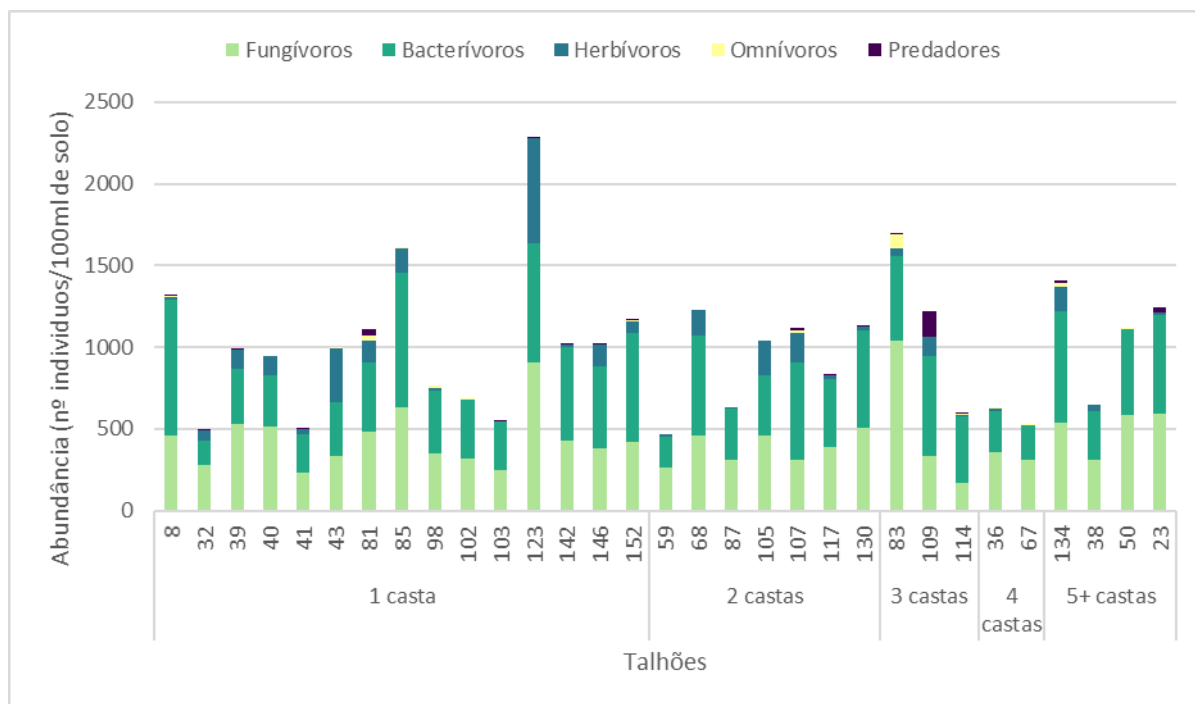


Figura 4. Abundância de nemátodes pertencentes a cada grupo trófico nos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com número de castas associadas. Os valores representam a média de 3 amostras de 100 ml de solo por talhão.

A abundância média de nemátodes em 100 ml de solo variou entre 471 (talhão 59) e 947 (talhão 123) (Figura 4). O talhão 107 teve o maior número de famílias associadas (18 famílias); já os talhões 87 e 67 tiveram o número mais baixo, ambos com 8 famílias presentes (Tabela A5). No caso específico dos nemátodes herbívoros, a sua identidade é especialmente relevante, dado os problemas que nemátodes do género *Xiphinema* podem causar à videira (EPPO, 2008) (Figura 5). De assinalar que este género foi detetado em 6 dos 31 talhões, e apresentava maior abundância no talhão 107 (média de 16 indivíduos/100 ml de solo).

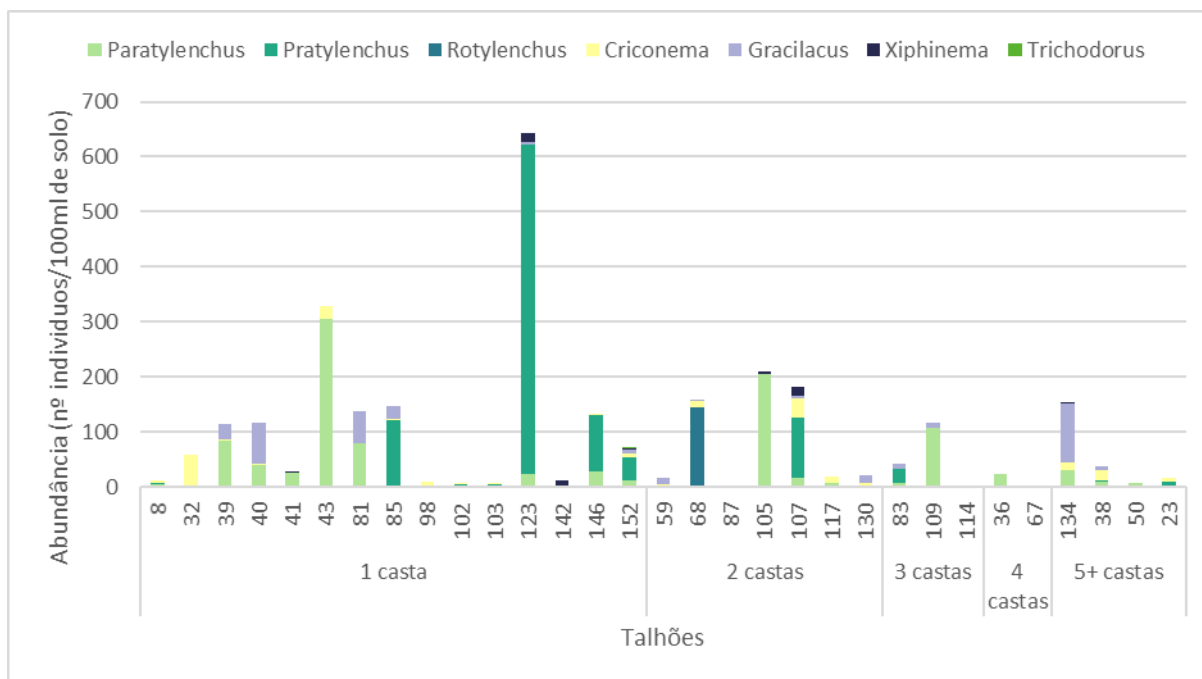


Figura 5. Abundância de nemátodes herbívoros pertencentes a cada género presente nos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com número de castas associadas. Os valores representam a média de 3 amostras de 100 ml de solo por talhão.

3.1.2.2. Pegadas metabólicas de estrutura, enriquecimento e herbivoria

Para cada talhão foram calculadas pegadas metabólicas de estrutura, de enriquecimento e de herbivoria de forma a verificar a condição geral das redes tróficas do solo e para analisar se existiam ameaças de nemátodes fitoparasitas para a videira. Os valores destas pegadas, analisados sob transformação logarítmica, estão apresentados na Tabela A6.

Na pegada de estrutura, o valor mais elevado foi encontrado no talhão 109 (2,23 C/mg), um dos talhões com valores máximos de atividade microbiológica, e o mais baixo no talhão 59 (0,37 C/mg), o talhão com menor abundância de nemátodes. No caso da pegada metabólica de enriquecimento o valor mais elevado ocorreu no talhão 68 (2,52 C/mg), enquanto que no talhão 114, a pegada foi de 1,34 C/mg o que pode indicar escassez de nutrientes neste local.

Por fim, nas pegadas metabólicas de herbivoria, o talhão 123 foi onde se obteve um maior valor com 1,98 C/mg devido à abundância elevada de nemátodes do género *Pratylenchus* (Tabela A5.3). O talhão 67 foi o único que apresentou um valor nulo, o que indica que não existe pressão de nemátodes herbívoros nesse local, este talhão teve o valor máximo da atividade microbiológica e situa-se numa das zonas mais húmidas da vinha, perto de um curso de água.

3.2. Análise das componentes *Above-ground*

A componente *above-ground*, inclui variáveis como a complexidade de infraestruturas ecológicas, a riqueza, gestão e cobertura dos enrelvamentos entre as linhas de vinha e também uma variável obtida por deteção remota, o índice de vegetação NDVI, especificamente do ano de 2021.

3.2.1. Avaliação da complexidade de infraestruturas ecológicas

A presença e a complexidade das estruturas (Figura 6) dependiam fortemente da localização dos talhões na Quinta, se estes se encontravam rodeados de estradas, caminhos ou mesmo de outros talhões, como os que estão classificados como 0, não havia presença de nenhum tipo de infraestrutura. Por outro lado, havia talhões que tinham estruturas adjacentes como ribeiros, matos ou árvores que permitem uma maior proliferação da biodiversidade (Tabela A7).

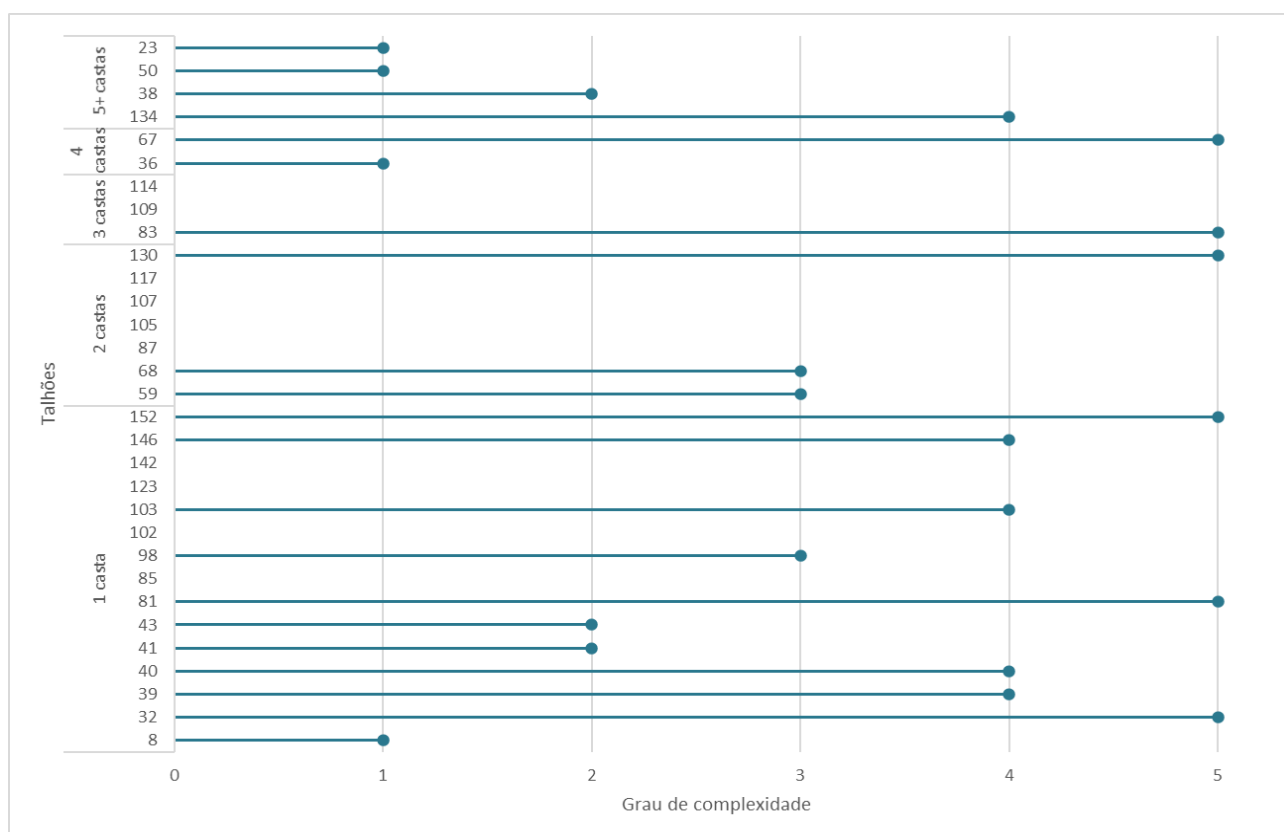


Figura 6. Escala de complexidade infraestruturas ecológicas (0 a 5) com respetiva classificação nos 31 talhões selecionados e número de castas associadas. Dados recolhidos em maio 2021.

3.2.2. Cobertura e diversidade florística do enrelvamento

O único talhão em que foi utilizada sementeira com uma mistura de sementes foi o 87, enquanto mais de metade (cerca de 61%) dos talhões selecionados tinha enrelvamento entre a linha de vinha, sendo este espontâneo (Figura 7).

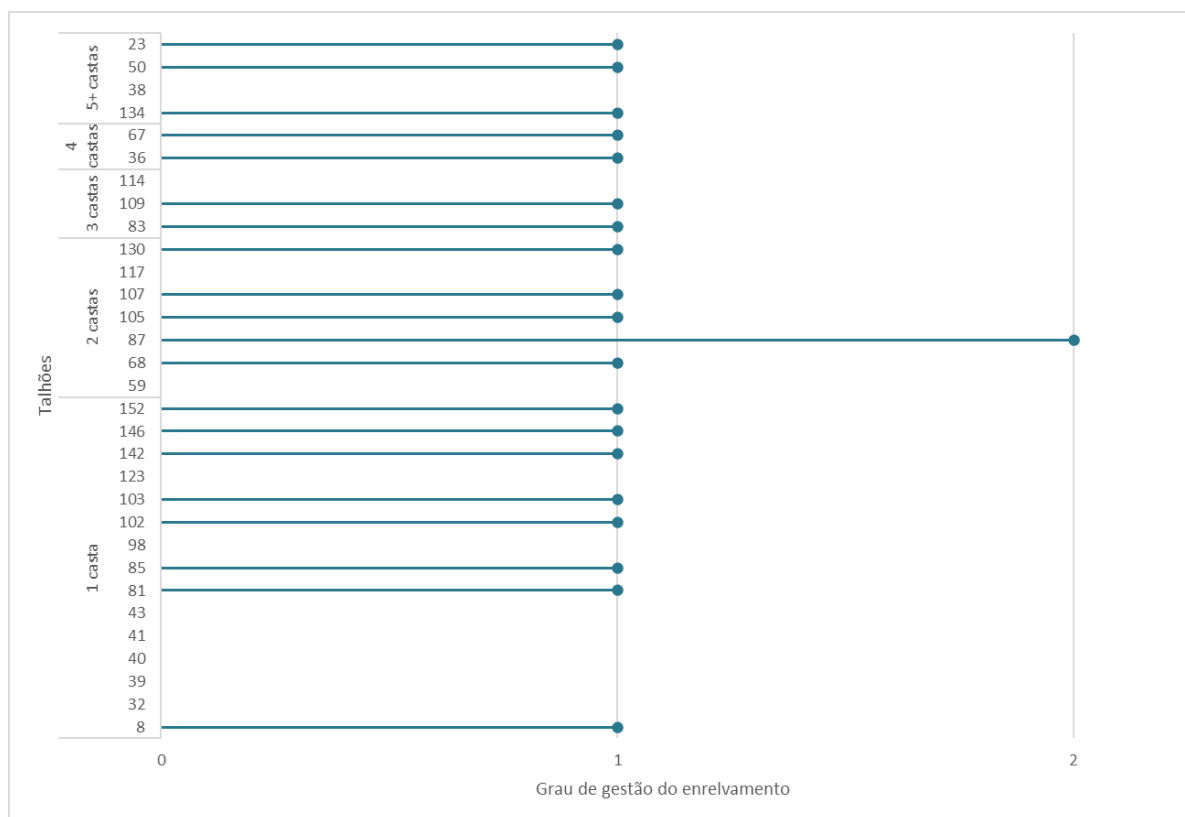


Figura 7. Escala de gestão de enrelvamento (0 a 2) com respetiva classificação dos 31 talhões selecionados com respetiva classificação nos 31 talhões selecionados e número de castas associadas.

Em termos de cobertura do enrelvamento, as observações foram feitas em campo e teve-se em conta a classificação de “Grasses”, “Legumes” e “Forbs” e a percentagem da sua cobertura nos quadrados de amostragem (Figura 8).

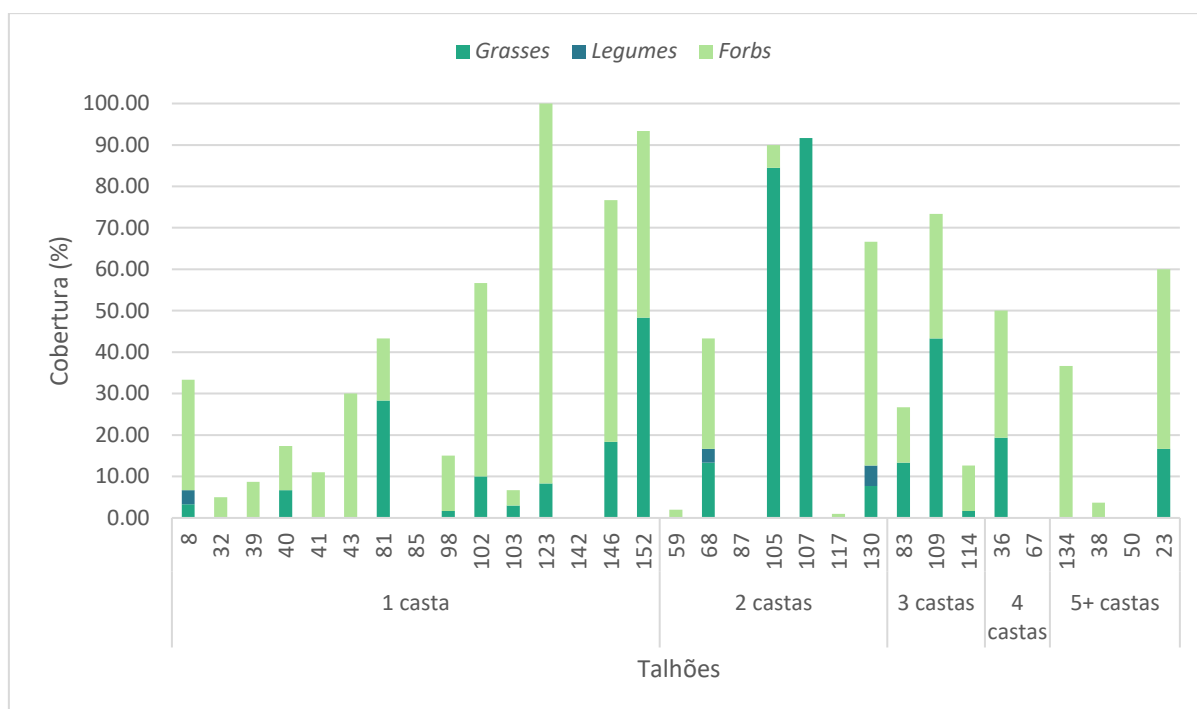


Figura 8. Cobertura média total dos 31 talhões selecionados tendo em conta a diversidade de castas associada e a identidade das espécies presentes como "Grasses", "Legumes" e "Forbs".

Dos 11 talhões classificados com 0 (solo nu) na gestão, 9 tinham uma cobertura vegetal abaixo dos 20%. Os dois talhões que se excluíram foram o talhão 43, com 30% de cobertura, e o talhão 123 com 100% de cobertura, na sua maioria *forbs*.

Existiam também talhões com cobertura abaixo dos 20%, mas que foram classificados com 1 (espontâneo) e 2 (semeado) na componente de gestão. Esses talhões tiveram percentagens baixas ou nulas devido a outras componentes da gestão do enrelvamento: nos talhões 142 e 103 o enrelvamento foi cortado nas semanas anteriores à visita de campo; no talhão 85 foi aplicado herbicida no talude, na linha de vinha e entre as linhas; o talhão 50 foi escarificado com tração animal no dia anterior; e no talhão 87, o único com enrelvamento de sementeira, foi passado o trator de rastos na semana da amostragem, o que cortou a flora do enrelvamento e inviabilizou a sua análise.

Foi também analisada a riqueza de espécies presentes nos enrelvamentos dos talhões (Tabela A8), neste caso não apenas nos quadrados de amostragem, mas sim na generalidade do enrelvamento (Figura 9).

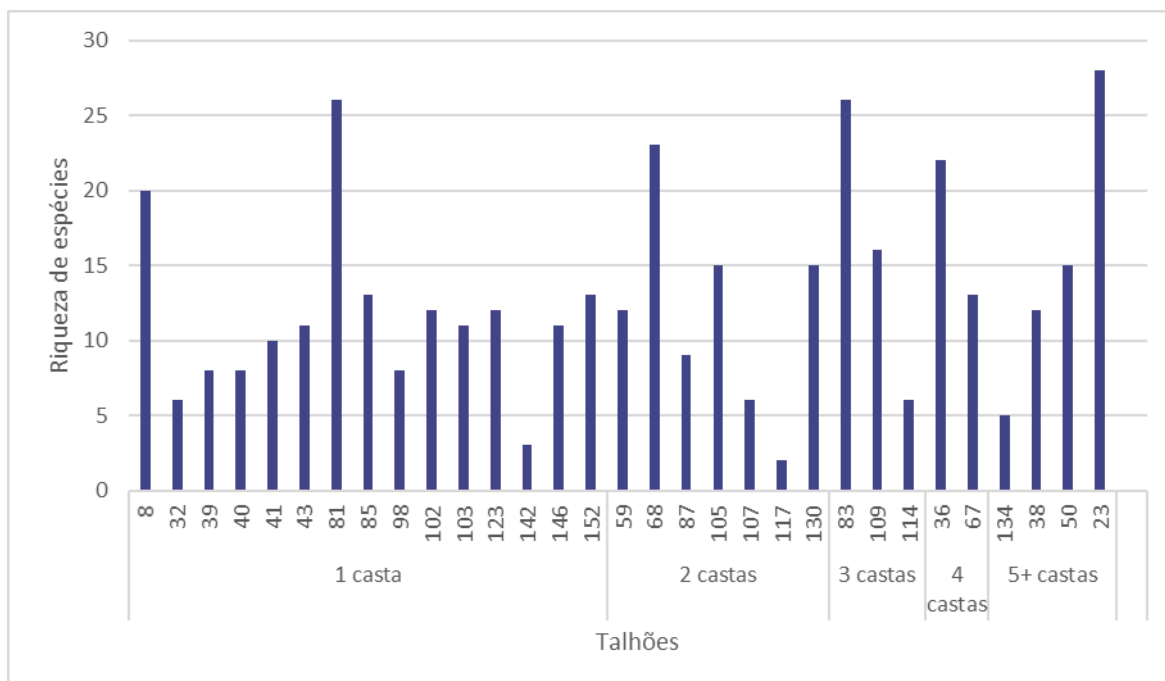


Figura 9. Riqueza de espécies presentes na generalidade do enrelvamento entre linha de vinha dos 31 talhões selecionados da Quinta do Seixo com respetiva diversidade de castas.

Cerca de 32,3% dos talhões selecionados tiveram uma riqueza abaixo das 10 espécies, sendo que esse valor foi mais baixo no talhão 117 (2 espécies presentes) pois, para além de ser considerado como “solo nu” na gestão, foi tratado com herbicida no talude, na linha e entre a linha de vinha. Acima das 20 espécies, temos 16,1% dos talhões selecionados, o valor mais elevado foi atingido no talhão 23 (28 espécies), que para além de ser o talhão com maior número de castas presentes (18 castas), é também gerido como biológico nos últimos 3 anos. De destacar que nesta percentagem também se inserem os talhões 81 e 83 que são considerados de vinha biológica (não certificada) há cerca de 17 anos.

3.2.3. NDVI

De forma a atribuir um valor de NDVI a cada talhão, foi feita a média de todos os valores contidos dentro das suas áreas (Figura 10). Usou-se especificamente o NDVI de 2021 de forma a refletir o estado da vinha do ano em que foi feita a amostragem (Tabela A10).

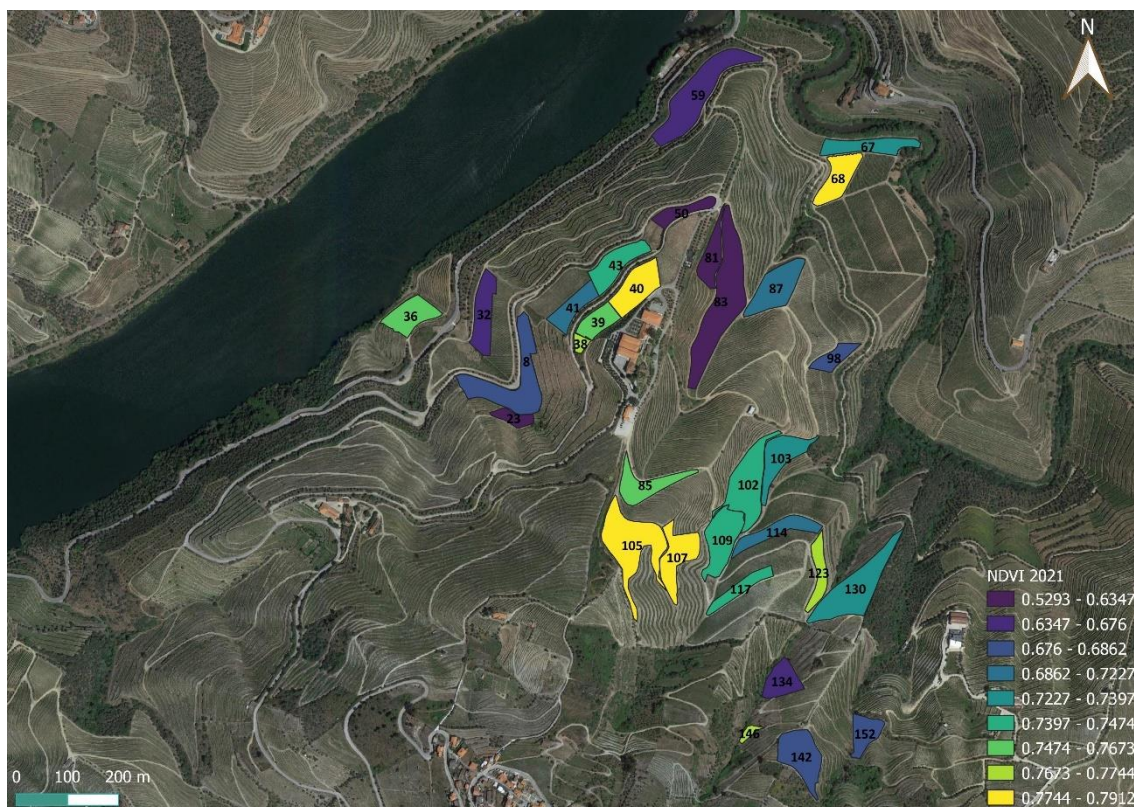


Figura 10. Mapa com intervalos de valores de NDVI médio do ano de 2021 nos talhões selecionados da Quinta do Seixo.

O valor mais alto de NDVI atingido foi no talhão 107 com um valor de 0,791 que é um dos talhões com maior percentagem de cobertura de enrelvamento. Enquanto o valor mais baixo, ocorreu no talhão 50 (0,529) e é um dos talhões que tem cobertura nula devido à escarificação do solo.

3.3. Métricas de Sustentabilidade

Nas métricas de sustentabilidade obtiveram-se os resultados das métricas publicadas e procedeu-se à construção de uma nova métrica agroecológica com base nas observações feitas na Quinta do Seixo.

3.3.1. Métricas publicadas

As métricas de sustentabilidade publicadas estão representadas na Figura 11. Na maioria das métricas foram utilizados valores limiar de forma a verificar que talhões estão acima desse valor de sustentabilidade, exceto no caso da métrica FESLM. Como mencionado anteriormente, nessa métrica classificam-se os talhões como sustentáveis (S) ou não sustentáveis (NS) sendo atribuído um valor concreto aos que se classificaram como sustentáveis, de forma a facilitar a visualização dos dados o valor de sustentabilidade foi aplicado a todos os talhões, mesmo que estes fossem considerados não sustentáveis.

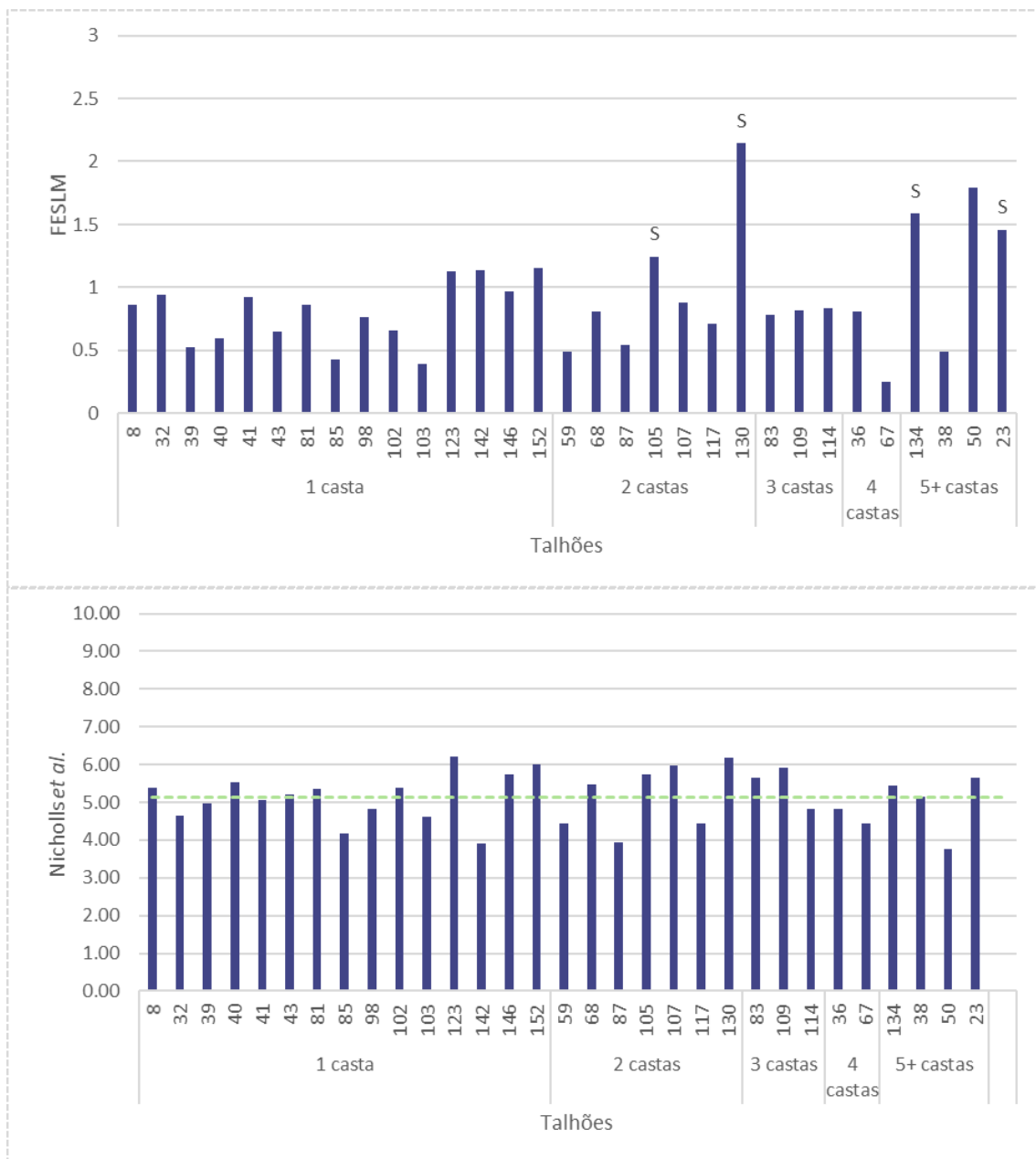


Figura 11. Valores das métricas de sustentabilidade para cada um dos 31 talhões analisados na Quinta do Seixo. Cada uma das métricas tem um valor limiar associado (representado pela linha a tracejado), se esse valor for ultrapassado, o talhão é considerado sustentável. FESLM, com indicação de categoria Sustentável (S) e Não Sustentável (NS); Nicholls et al. - valor limiar representa a média dos valores de todos os talhões. INSPIA, valor limiar associado de 67. CAET, valor limiar representa a média dos valores dos talhões.

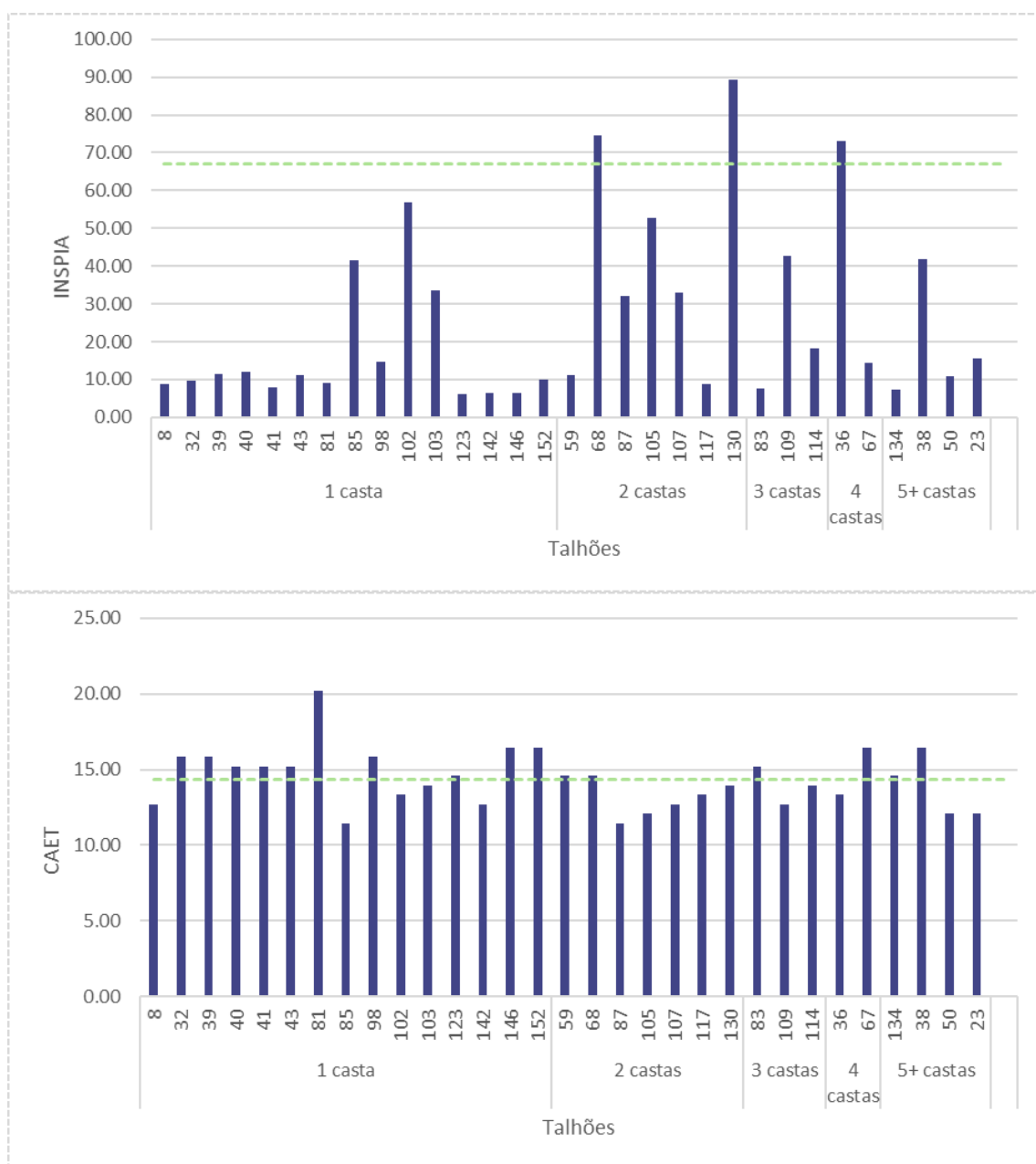


Figura 11 (continuação). Valores das métricas de sustentabilidade para cada um dos 31 talhões analisados na Quinta do Seixo. Cada uma das métricas tem um valor limiar associado (representado pela linha a tracejado), se esse valor for ultrapassado, o talhão é considerado sustentável. FESLM, com indicação de categoria Sustentável (S) e Não Sustentável (NS); Nicholls et al., valor limiar representa a média dos valores de todos os talhões. INSPIA, valor limiar associado de 67. CAET, valor limiar representa a média dos valores dos talhões.

O valor de sustentabilidade dos talhões variou consoante a métrica aplicada. Existiram talhões que numa métrica atingiram valores altos, mas que noutra obtiveram valores baixos (Figura 11). No entanto, existiram talhões que apresentaram consistentemente valores elevados em quase todas as métricas, foi o caso do talhão 130 e do 134. O talhão 130 foi um dos que teve maior

complexidade de infraestruturas ecológicas e o 134 foi aquele com os valores mais elevados de humidade e matéria orgânica.

Da aplicação da métrica FESLM resultou que apenas 4 dos 31 talhões foram considerados sustentáveis. O talhão 130 obteve o valor de sustentabilidade mais alto, 2,14. Este talhão apresentou valores relativamente elevados em ambas as dimensões da métrica: na dimensão da Satisfação do Produtor obteve uma pontuação de 2,94, principalmente devido aos valores elevados de produção; na dimensão de Conservação de Recursos Naturais a pontuação foi cerca de 1,35. Os restantes variavam o seu valor de sustentabilidade entre 1,25 e o 1,59.

Na métrica publicada por Nicholls *et al.* (2004) foi calculado um valor limiar (5,12) através da média dos valores obtidos em todos os talhões, sendo essa a referência para definir os que apresentavam uma sustentabilidade melhor. Mais de metade dos talhões (54,84%) tiveram uma classificação acima do valor limiar. Nenhum dos talhões da Quinta do Seixo ultrapassou o valor de 6,5, sendo que o talhão com valor mais alto foi o talhão 123 com 6,22 e o talhão 130 com 6,19. Ambos os talhões tiveram valores elevados de cobertura do solo, atividade microbiológica, de aparência ao nível de saúde da vinha e diversidade da vegetação. No caso do talhão 50 (3,75), fatores como a cor, os resíduos, a humidade, a cobertura do solo, a produção e a diversidade vegetal foram baixos, tornando-o no talhão com valor mais baixo nesta métrica. A métrica INSPIA mostrou que apenas 3 dos 31 talhões ultrapassaram o valor limiar de 67. Os valores dos talhões considerados sustentáveis foram desde um máximo de 89,38 (talhão 130) até 73,06 (talhão 36). De facto, o talhão 130 teve valores altos na dimensão económica e na ambiental, mas apesar disso, o valor da dimensão social foi 0 em todos os talhões por falta de dados. O talhão com valor mais baixo foi o 123 (6,15).

Por fim, para a métrica agroecológica CAET foi criado um valor limiar de 14,34 a partir da grande média. Cerca de 51,61% dos talhões selecionados estavam acima do valor limiar. O talhão com maior valor desta medida de práticas agroecológicas foi o 81 (20,21), uma vinha biológica não certificada. Em contraste, os talhões 85 e 87 tiveram o valor mais baixo, correspondente a 11,46.

3.3.2. EcoVine

A criação de uma nova métrica de sustentabilidade com base na Quinta do Seixo foi feita por passos, inicialmente foram feitas duas PCAs, uma para o índice *below-ground* (Figura 12) e outra para o índice *above-ground* (Figura 13), o que permitiu selecionar e sumarizar os indicadores

com maior importância em cada uma das componentes; depois foram associados os valores dos índices aos talhões correspondentes e por fim, foi feito o mesmo para a métrica final de sustentabilidade.

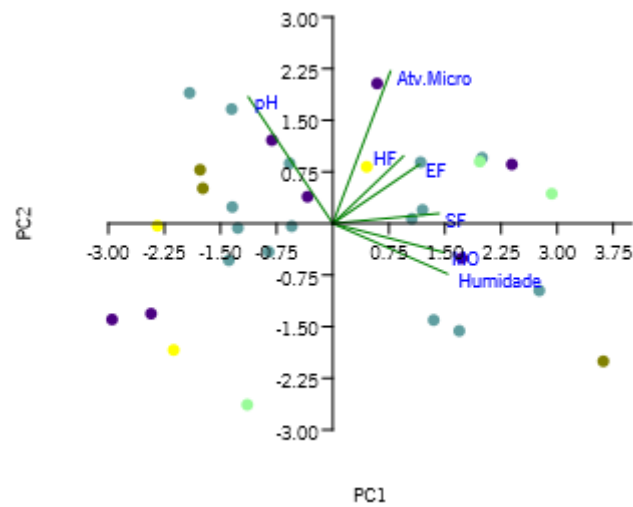


Figura 12. Análise de componentes principais (PCA) dos indicadores below-ground (PC1, $eigenvalue=3,34$; PC2, $eigenvalue=1,40$)

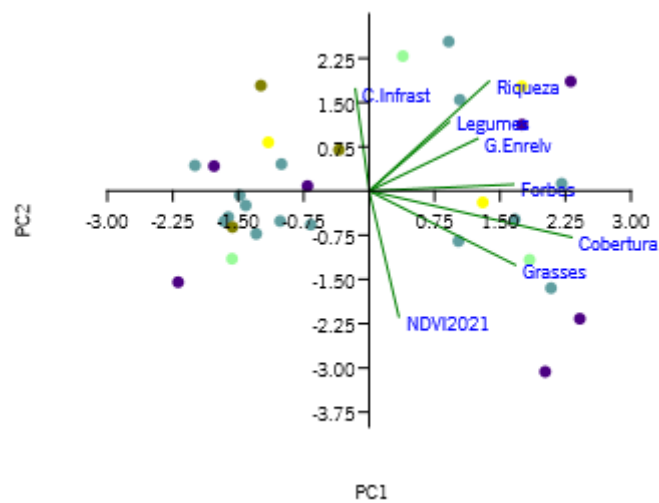


Figura 13. Análise de componentes principais (PCA) dos indicadores above-ground (PC1, $eigenvalue=2,52$; PC2, $eigenvalue=1,72$)

Assim, inicialmente selecionou-se o número de componentes principais a considerar nas PCAs tendo em conta a variância explicada por cada componente principal (Tabela 9).

Tabela 9. Seleção de componentes principais a considerar nos índices *below* e *above-ground* através da sua percentagem de variância explicada. As componentes que ultrapassaram o valor limiar de 15% de variância encontram-se destacadas a verde.

Componentes Principais	<i>Below-ground</i>	<i>Above-ground</i>
1	46,1	30,5
2	19,4	20,9
3	15,5	16,2
4	7,3	11,5
5	4,7	9,8
6	4	6,2
7	3	4,9
8	0	0

Em ambos os casos, na componente *below-ground* e *above-ground*, foram escolhidas as 3 primeiras componentes por estas se encontrarem acima do limiar de 15% e explicarem 81% e 68% da variância, respetivamente.

Depois de seleccionadas as componentes principais a considerar, criou-se um novo valor limiar de 0,4 que foi tido em conta os *loadings* de cada variável em cada uma das componentes principais. No índice *below-ground* (Tabela 10), ultrapassaram o valor limiar na PC1 a matéria orgânica, a humidade e a pegada metabólica de estrutura; enquanto na PC2 o valor limiar foi ultrapassado pelo pH e a atividade microbiológica; e por fim, na PC3, apenas a pegada metabólica de estrutura ultrapassou o valor limiar estipulado. Desta forma os indicadores finais a serem utilizados no cálculo do índice *below-ground* foram a percentagem de matéria orgânica, a percentagem de humidade, a pegada metabólica de estrutura da comunidade de nemátodes, o pH e a atividade microbiológica.

Tabela 10. *Loadings* das 3 componentes principais seleccionadas para o índice *below-ground* com base nos indicadores matéria orgânica (MO), pH, atividade microbiológica (Atv.Micro), humidade, pegada metabólica de herbivoria (logHF), pegada metabólica de enriquecimento (logEF) e pegada metabólica de estrutura (logSF) das comunidades de nemátodes. Os valores que ultrapassaram o valor limiar de 0,4 encontram-se destacados a verde.

	MO	pH	Atv.Micro	Humidade	HF	EF	SF
PC 1	0,45603	-0,34501	0,23571	0,46916	0,28927	0,35383	0,43411
PC 2	-0,12891	0,56194	0,67623	-0,22409	0,29936	0,26178	0,044185
PC 3	0,33923	0,24347	0,27546	0,010946	-0,61822	-0,42396	0,43325

No índice *above-ground* (Tabela 11), ultrapassaram o valor limiar na PC1 a cobertura e a percentagem de *Grasses* e *Forbs*; na PC2 o valor limiar foi ultrapassado pela complexidade de infraestruturas ecológicas e a riqueza do enrelvamento; e na PC3, a percentagem de cobertura de *Forbs* e *Legumes* foram as variáveis que ultrapassaram o valor limiar. Assim, os indicadores

finais a serem utilizados no cálculo do índice *above-ground* foram a percentagem de cobertura e a riqueza do enrelvamento, a percentagem de cobertura de *Grasses*, *Forbs* e *Legumes*, e a escala de complexidade de infraestruturas ecológicas.

Tabela 11. Loadings das 3 componentes principais selecionadas para o índice above-ground com base nos indicadores complexidade de infraestruturas ecológicas, gestão do enrelvamento, riqueza, percentagem de cobertura, percentagem de grasses, forbs e legumes e NDVI do ano de 2021. Os valores que ultrapassaram o valor limiar de 0,4 encontram-se destacados,

	C.Infrast	G.Enrelv	Riqueza	Cobertura	Grasses	Forbs	Legumes	NDVI2021
PC 1	-0,04048	0,31765	0,35055	0,59251	0,42748	0,42223	0,23445	0,08672
PC 2	0,44134	0,22666	0,47434	-0,20021	-0,32016	0,02871	0,29915	-0,54401
PC 3	0,31513	-0,48160	-0,15843	0,08306	-0,35923	0,47743	0,40188	0,34389

Com os indicadores selecionados, passou-se ao cálculo dos diferentes índices e da métrica de sustentabilidade final (Tabela A11). Como em métricas anteriores, foram utilizados valores limiar para cada índice e para a métrica final (Figura 14). No índice *below-ground*, esse valor limiar foi calculado através da média dos valores da componente, correspondente ao valor 1. Dos 31 talhões, 13 encontravam-se acima do *threshold*, e o valor mais alto deste índice ocorreu no talhão 109 (1,37), cujos valores de todos os indicadores estão acima da média. O talhão com o índice mais baixo foi o talhão 87 com 0,65, e com todos os indicadores abaixo da média com exceção do pH. No índice *above-ground* o valor limiar foi calculado da mesma forma que para a componente *below-ground*, os valores obtidos para 13 dos 31 talhões situavam-se acima do valor limiar. O talhão 130 foi onde se obteve um valor mais elevado, 3,64, todos os seus indicadores estavam acima da média com a exceção da cobertura de “Grasses”. Dando destaque à percentagem de “Legumes”, o talhão 130 foi também o que teve maior percentagem de cobertura desse grupo. No talhão 142 e no 117 foi atingido o valor mais baixo, 0,04, provavelmente devido à percentagem de cobertura ser 0% e terem uma riqueza de espécies no enrelvamento baixa.

Com ambos os índices calculados, a nova métrica de sustentabilidade, EcoVine foi criada dando igual peso a ambos os indicadores. O valor limiar da métrica foi de 0,5, o qual foi ultrapassado em 13 talhões. O talhão 130 foi o que teve uma maior pontuação (1,21), justificada pelo valor mais alto observado para o índice *above-ground* pelo facto do índice *below-ground* estar acima do valor limiar. O talhão 87 foi o que apresentou menor valor, 0,19, provavelmente devido ao facto do valor do índice *below-ground* ser o mais baixo, e o índice *above-ground* também não ter conseguido ultrapassar o valor limiar.

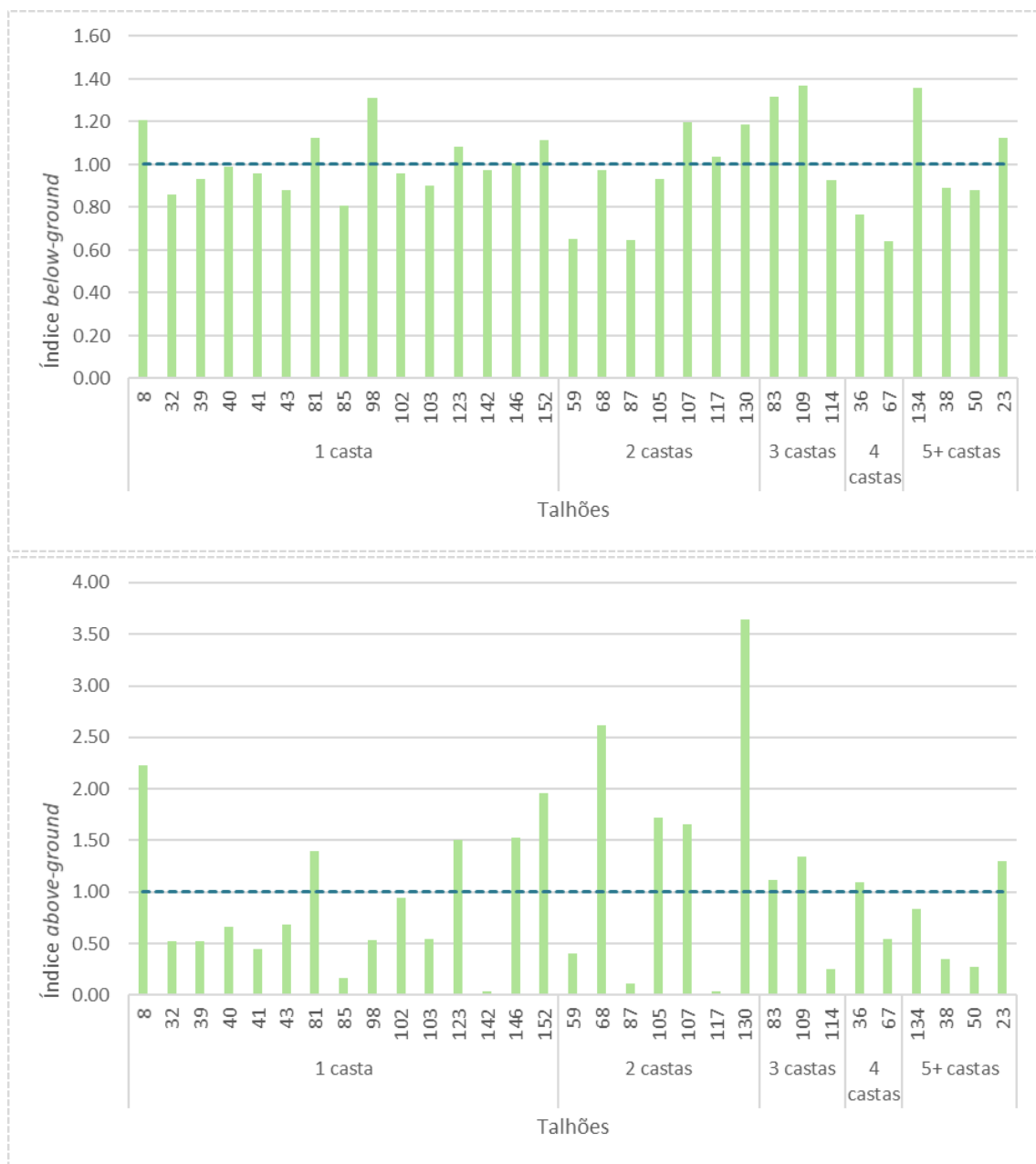


Figura 14. Valores dos índices below- e above-ground e da nova métrica de sustentabilidade criada, a EcoVine com a respetiva classificação por talhão. Foi criado um valor limiar para os dois índices e a métrica EcoVine a partir da grande média que no caso dos índices corresponde a 1 e no caso da métrica final corresponde a 0,5. Os talhões que ultrapassassem esse valor limiar (representado pela linha a tracejado) foram considerados sustentáveis.

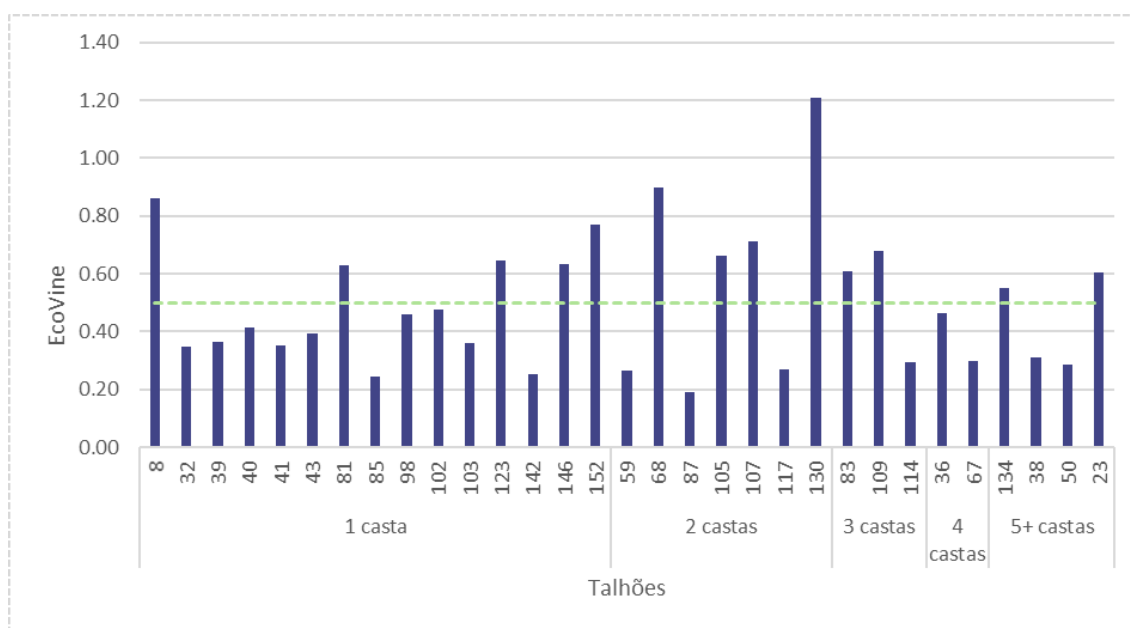


Figura 14 (continuação). Valores dos índices below- e above-ground e da nova métrica de sustentabilidade criada, a EcoVine com a respetiva classificação por talhão. Foi criado um valor limiar para os dois índices e a métrica EcoVine a partir da grande média que no caso dos índices corresponde a 1 e no caso da métrica final corresponde a 0,5. Os talhões que ultrapassassem esse valor limiar (representado pela linha a tracejado) foram considerados sustentáveis.

3.3.3. Relações entre métricas de sustentabilidade

Nas correlações de Spearman verificou-se que os valores obtidos através da aplicação da métrica EcoVine se correlacionaram positivamente com os da métrica de Nicholls e também com os da FESLM (Tabela 12).

Tabela 12. Matriz de correlação de Spearman entre todas as métricas de sustentabilidade aplicadas aos talhões da Quinta do Seixo. Os valores de correlação são apresentados na metade de baixo da matriz, com “*” encontram-se os valores com correlações significativas ($p < 0.05$).

	FESLM	Nicholls	INSPIA	CAET	EcoVine
FESLM					
Nicholls	0,466*				
INSPIA	-0,268	0,0495			
CAET	-0,161	0,167	-0,320		
EcoVine	0,476*	0,890*	0,136	0,117	

3.3.4. Relações entre métricas de sustentabilidade, produção e estabilidade

A métrica FESLM correlacionou-se com as 3 componentes da produção (Tabela 13). Estas correlações eram todas negativas pelo que a relação entre esta métrica e as componentes de produção foi inversamente proporcional em todas as componentes. O coeficiente de correlação foi mais relevante quando a métrica se associou à produção média ($r = -0,716$). O desvio padrão

da produção, utilizado para avaliar a estabilidade e resiliência da produção, correlacionou-se negativamente com a FESLM ($r = -0,604$).

A métrica INSPIA apresentou correlações significativas com os valores de produção. Todas as correlações entre a métrica e as componentes de produção, incluindo o desvio-padrão da produção, eram positivas e, da mesma forma que aconteceu com a FESLM, o coeficiente de correlação era mais elevado quando a métrica se associava à produção média ($r = 0,623$).

Tabela 13. Matriz de correlação de Spearman entre as métricas de sustentabilidade publicadas e a produção do ano de 2020 (P_2020), produção média (P_média) e desvio-padrão da produção (DP). Destacados com "*" encontram-se os valores com relações significativas ($p < 0,05$).

	FESLM	Nicholls	INSPIA	CAET	P_2020	P_média	DP
FESLM							
Nicholls	0,466*						
INSPIA	-0,268	0,0495					
CAET	-0,161	0,167	-0,319				
P_2020	-0,599*	-0,0545	0,428*	0,180			
P_média	-0,716*	-0,148	0,623*	0,0708	0,815		
DP	-0,604*	-0,123	0,496*	0,0426	0,871	0,857	

Os valores de sustentabilidade obtidos pela nova métrica criada, a EcoVine, não se correlacionaram diretamente com os parâmetros de produção. Foram obtidas correlações significativas negativas da componente below-ground da Ecovine com a produção média ($r = -0,402$, $p < 0,001$) e com a estabilidade/resiliência da produção ao longo dos anos ($r = -0,368$, $p < 0,05$). De forma expectável, os valores da métrica final EcoVine correlacionaram-se significativamente com os índices que a compõe, mas de um modo mais forte com o índice *above-ground* do que com o índice *below-ground*. É também relevante salientar que estas duas componentes também estavam interrelacionadas uma com a outra (Tabela 14).

Tabela 14. Matriz de correlação de Spearman entre a EcoVine e os índices below e above-ground e a produção do ano de 2020 (P_2020), produção média (P_média) e desvio-padrão da produção (DP). Destacados com "*" encontram-se os valores com relações significativas ($p < 0,05$) e o respetivo valor de correlação.

	EcoVine	Below	Above	P_2020	P_média	DP
EcoVine						
Below	0,677*					
Above	0,971*	0,527*				
P_2020	-0,0234	-0,253	-0,00262			
P_média	-0,0911	-0,402*	-0,0413	0,815*		
DP	-0,141	-0,368*	-0,110	0,871*	0,857*	

3.4. Efeito da diversidade de castas na sustentabilidade, na produção e na saúde do solo

A diversidade de castas foi um fator que se considerou relevante para verificar a influência do número de castas presentes nos talhões nos valores das métricas de sustentabilidade, nas componentes da produção e na saúde do solo.

3.4.1. Diversidade de castas *versus* métricas de sustentabilidade e estabilidade de produção

Após a análise de glm, a métrica FESLM e a produção média foram as únicas variáveis que revelaram diferenças significativas. Dessa forma, verificou-se que existiam diferenças entre os grupos de diversidade de castas (teste LSD, $p < 0,05$, Figura 15).

No caso da métrica FESLM, verificou-se, no geral, uma tendência para uma maior sustentabilidade em talhões com uma maior diversidade de castas: os talhões com uma, quatro e 9 castas obtiveram valores de sustentabilidade significativamente menores do que os talhões com 5, 13 e 18 castas (Figura 15A).

Quanto à produção média, também se verificou uma tendência para maior produção nos talhões maior diversidade de castas: a produção foi mínima nos talhões com uma, duas e quatro castas, e foi máxima no talhão com cinco castas (Figura 15B).

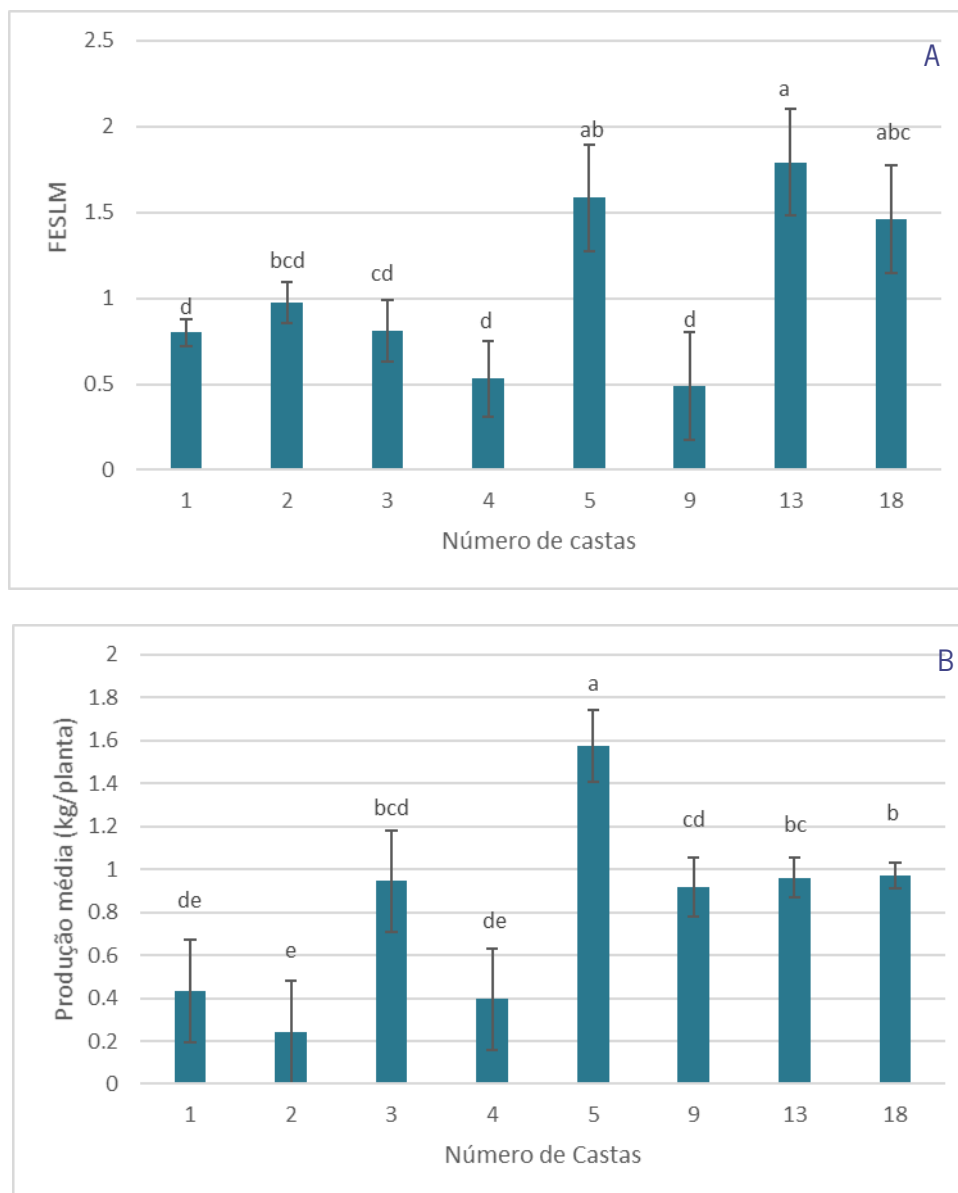


Figura 15. Efeito do nº de castas nos valores médios (+ desvio padrão) da métrica FESLM (A) e da produção média (B). Letras diferentes por cima das barras, representam diferenças significativas entre os grupos (teste LSD, $p < 0,05$). Para 1 casta- $n=15$; 2 castas, $n=7$; 3 castas, $n=3$; 4 castas, $n=2$; 5 castas, $n=1$; 9 castas, $n=1$; 13 castas, $n=1$; 18 castas, $n=1$.

3.4.2. Perfis faunísticos e pegadas metabólicas do solo

Os perfis faunísticos e as pegadas metabólicas calculadas através das comunidades de nemátodes foram interpretados tendo em conta a diversidade de castas presentes nos talhões selecionados (Figura 16). Em geral, todos os talhões, quando agrupados pelo número de castas presentes, demonstraram um índice de estrutura baixo, o que indica pouco poder de regulação. Para além disso, com a exceção dos talhões de quatro castas, todos os outros apresentam uma escassez de nutrientes. Assim, nos talhões com apenas uma casta os valores de EI e SI situam-se no quadrante D, muito próximos do limite com o quadrante A. O solo pertencente a estes talhões é pobre em nutrientes e tem uma rede trófica degradada, pouco estruturada o que faz

com que seja propício ao ataque de pragas e doenças dada à sua fraca capacidade de regulação. A nível da pegada funcional, o romboide varia bastante no eixo do enriquecimento e pouco no da estrutura, o que pode significar que existem nutrientes em demasia, mas que a rede trófica não os está a aproveitar para aumentar a sua complexidade. De forma semelhante, a nível dos índices de estrutura e enriquecimento, o solo dos talhões com duas castas situava-se no limite entre o 1º e o 4º quadrantes, tinha um enriquecimento pouco elevado e a rede trófica era também degradada e sujeita a *stress*. A pegada funcional destes talhões era idêntica à dos com uma casta, mas com uma amplitude ainda menor no eixo do índice de estrutura. Os talhões com 3 castas, têm um solo com os EI e SI situados no quadrante D o que, à semelhança das diversidades anteriores, significa que as redes tróficas sofrem de stress e não têm grande riqueza de nutrientes nem de estrutura. Na pegada funcional, temos um romboide muito equilibrado o que significa que a rede trófica está a utilizar os nutrientes que lhe são fornecidos para melhorar a sua estrutura. Os talhões com quatro castas situam-se no quadrante A, o que significa que os solos destes talhões são ricos em azoto, mas sofrem algumas perturbações e que a rede trófica não é estruturada. O romboide da pegada funcional é o menos equilibrado de todos, com uma amplitude quase nula no eixo do SI. Por fim, os talhões com mais de cinco castas têm solos que, a nível do EI e SI se situam também no quadrante D à semelhança dos de uma e três castas. A sua pegada funcional não é perfeitamente equilibrada, com uma amplitude maior a nível da estrutura, sendo de notar que a sua amplitude é maior no eixo do SI comparativamente ao solo dos talhões com uma, duas e quatro castas.

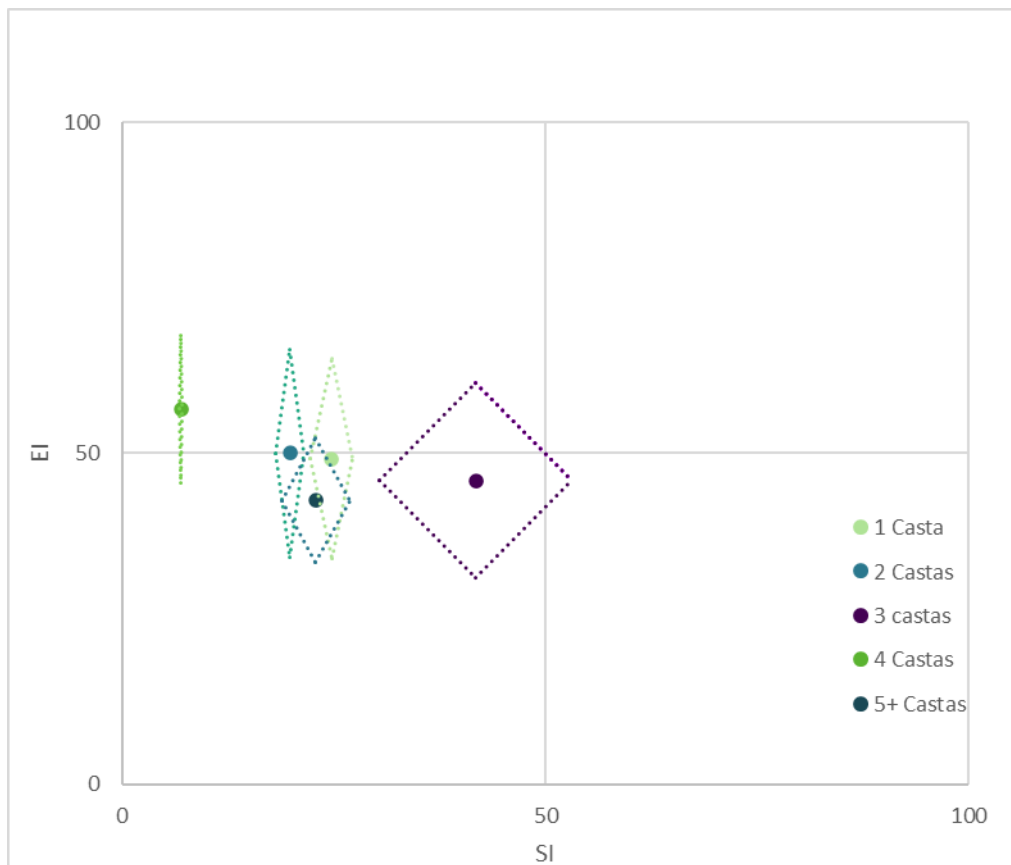


Figura 16. Perfis faunísticos que representam as condições de estrutura e de enriquecimento da rede alimentar do solo de acordo com a diversidade de castas presentes nos talhões. O ponto no centro do romboide representa a interseção entre os índices de estrutura e de enriquecimento. A área total das pegadas de estrutura e de enriquecimento representa a pegada funcional da rede alimentar. Estas foram calculadas através do uso de uma constante k de valor 5 de forma a facilitar a visualização das pegadas (Ferris, 2010).

À semelhança dos perfis faunísticos e pegadas funcionais, as pegadas metabólicas das comunidades de nemátodes foram analisadas tendo em conta a diversidade de castas presentes nos talhões selecionados da Quinta do Seixo (Figura 17).

Existiu uma semelhança das pegadas metabólicas dos bacterívoros e dos fungívoros em todos os talhões, havendo mais diferenças nas restantes, demonstrando que há concordância nos canais de decomposição utilizados no solo dos diferentes grupos de castas e que existe uma prevalência pelos canais bacterívoros. Os talhões com três castas têm as pegadas mais distintas. A nível de pressão de herbivoria, os talhões com maior atividade, sendo ela ainda que reduzida, foram os que apresentam uma e duas castas. Há atividade metabólica de omnívoros e predadores em todos os talhões, exceto nos que têm quatro castas, sendo que a sua atividade atingiu o máximo nos talhões com três castas.

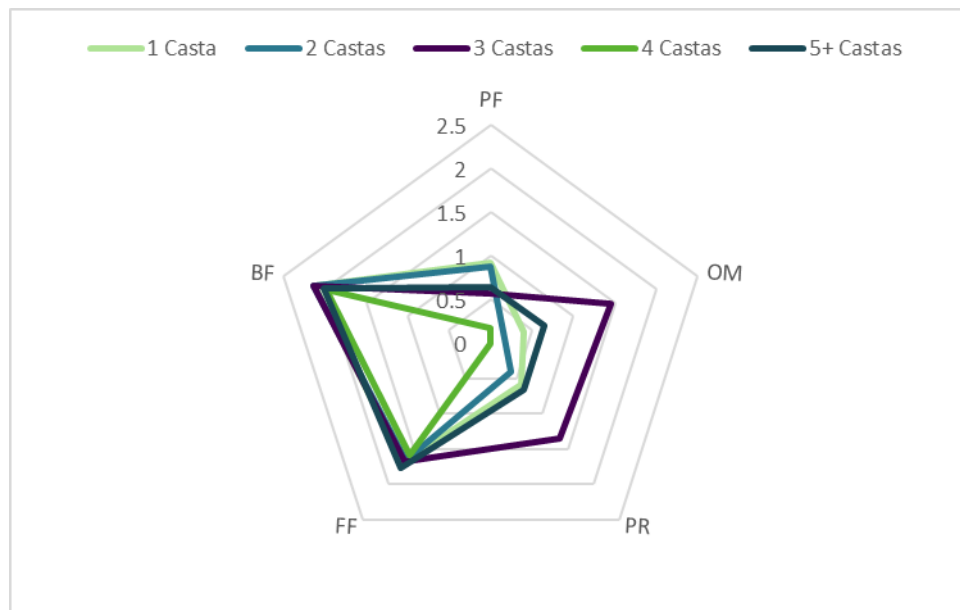


Figura 17. Pegadas metabólicas dos grupos tróficos de nemátodes (PF-herbívoros; OM-omnívoros; PR-predadores; FF-fungívoros; BF-bacterívoros) para os solos dos talhões com diferentes diversidades de castas.

4. Discussão

4.1. Métricas de sustentabilidade

A atividade do setor agrícola está relacionada com todos os objetivos para o desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 da ONU (2015), embora mais diretamente com o objetivo 12, “Produção e Consumo Sustentáveis”. Este objetivo visa alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais na agricultura, incentivando empresas agrícolas a adotarem medidas e práticas sustentáveis. Em concordância com estas tendências, na Quinta do Seixo é seguido o modo de produção integrada, um sistema de produção que se considera realista a nível económico, mas benéfico do ponto de vista ambiental (EISA, 2012; Rose et al., 2019). Neste sistema de produção são apoiadas práticas sustentáveis como o uso de infraestruturas de apoio à biodiversidade, mas ao mesmo tempo, aplicando uma proteção integrada que permite o uso de produtos fitofarmacêuticos de síntese caso os inimigos da cultura causem prejuízos acima do nível económico de ataque (DGADR, 2005). Na generalidade dos talhões selecionados, os valores das métricas de sustentabilidade não foram elevados. Isto sugere que, apesar de na Quinta do Seixo se utilizar um modo de produção integrada e deste ser uma alternativa mais sustentável em relação à agricultura convencional (Morris & Winter, 1999), haverá ainda possibilidades de melhoria da gestão para a sustentabilidade. Tendo isto em conta, é necessário estudar que práticas agroecológicas são necessárias e ideais de aplicar para que se impulse a sustentabilidade e a resiliência do agroecossistema, não só com um objetivo económico, mas

também com uma consciência ambiental de forma a atingir os objetivos estipulados na Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. Apesar disto, é necessário ter em conta que a análise foi realizada ao talhão e não em toda a extensão do Seixo e que também algumas das métricas aplicadas tinham indicadores substituídos ou eliminados do seu cálculo final.

No contexto do trabalho na Quinta do Seixo foi possível avaliar a aplicabilidade da EcoVine como métrica de sustentabilidade comparando-a com outras métricas. De facto, existiu uma concordância nos resultados da aplicação de diferentes métricas, nomeadamente a FESLM, a Nicholls, a INSPIA e a CAET em relação aos talhões com sustentabilidade mais elevada. No entanto, com exceção da CAET e da Ecovine, os resultados das métricas divergiram para os talhões com valores mais baixos. Esta discrepância pode dever-se ao facto de alguns dos indicadores com valores mais elevados serem considerados em todas as métricas; enquanto que os que têm valores mais baixos não são comuns a nenhuma métrica, tendo como exemplo a irrigação, a diversidade de atividades ou o modo de gestão (FAO, 2019; Gomez et al., 1996; Nicholls et al., 2004; Triviño-Tarradas et al., 2019). Tendo isto em conta, talhões com valores altos em indicadores relacionados com a produção, a matéria orgânica, a cobertura de enrelvamento e os grupos que a compunham, a atividade microbiológica e as infraestruturas ecológicas, foram considerados os mais sustentáveis. Dando especial atenção aos indicadores em comum entre todas as métricas como a matéria orgânica ou mesmo a produção, verifica-se que, de certa forma, existe uma ligação entre uma componente *below* e outra *above-ground* em todas. No caso específico da Região Demarcada do Douro (RDD), a natureza dos seus solos xistosos faz com que o seu teor de matéria orgânica seja bastante baixo (0,6-1,6%), podendo aumentar caso hajam alterações na sua configuração, nomeadamente na transformação para terreno agrícola (Figueiredo, 2013). Mesmo assim, pode ser necessário fazerem-se correções a estes valores de para que o teor fique mais próximo do ideal (cerca de 3%) e permita o crescimento saudável da uva (Prata-Sena et al., 2018). Estas correções podem passar pela fertilização orgânica ou inorgânica, mas também pode ser alcançada com práticas sustentáveis já mencionadas como o enrelvamento (McGourty & Reganold, 2005; Stefanucci et al., 2018). Este teor de matéria orgânica no solo afeta e indica sobre a qualidade e a saúde do mesmo, alterando a porosidade e a agregação, permitindo uma maior retenção de água (Lal, 2020) e criando micro-habitats que suportam diferentes comunidades de microrganismos dependendo das suas necessidades a nível de concentração de oxigénio ou disponibilidade de carbono orgânico (Bach et al., 2018). Estes microrganismos vão depois ter influência nos processos de

decomposição da matéria orgânica que são essenciais para disponibilizar nutrientes para a planta, sendo fatores especialmente importantes no crescimento da planta e na consequente produção agrícola (Bauer & Black, 1992; Lal, 2020). Apesar de tudo isso, a saúde do solo não se deve avaliar apenas pelo conteúdo de matéria orgânica e a produção não depende apenas desses fatores. Por isso é importante que se usem métricas que englobem as componentes *above* e *below-ground* de uma forma mais profunda de forma a termos uma visão holística de todos os fatores que podem contribuir para a sustentabilidade e para a resiliência de produção (Bardgett & Wardle, 2010; Orrell & Bennett, 2013).

Desta forma, métricas como a FESLM ou a INSPIA, que valorizam pouco as relações entre solo e parte aérea, não veem a sustentabilidade da exploração agrícola como um todo, mas sim a soma das partes que a compõe sendo preferível apostar em métricas que tenham uma perspectiva mais integrativa. Assim, métricas como a de Nicholls *et al.* (2004) e a EcoVine, criada no âmbito desta tese, são mais robustas pois têm em conta indicadores que são sensíveis às práticas de gestão aplicadas destacando as relações *above* e *below-ground*. A EcoVine evidencia essas interações através de indicadores que não se focam apenas em indicadores básicos como a percentagem de humidade, o pH e o teor de matéria orgânica, mas também na sua decomposição e remineralização (Ferris *et al.*, 2004) e na regulação das funções do solo, através do uso de nemátodes como bioindicadores da qualidade do solo. Estes bioindicadores, informam sobre a condição das redes tróficas, a sua complexidade e o seu funcionamento e permite-nos avaliar as respostas das espécies a diferentes fatores de stress, o que permite verificar se o ambiente está em condições degradadas ou saudáveis. Os nemátodes indicam os processos que estão a ocorrer no solo e que têm uma grande influência *above-ground* devido à interação solo-planta (de Deyn & Van der Putten, 2005) influenciando serviços dos ecossistemas como a purificação da água, o controlo de pragas e doenças através de uma regulação de herbívoros e mesmo a nível da produtividade das culturas (Freckman & Caswell, 1985; Viglierchio, 1991). As comunidades de nemátodes e outros indicadores, como os níveis de atividade microbiológica podem ser influenciados pela presença de infraestruturas ecológicas, que trazem biodiversidade para o sistema, como os enrelvamentos entre as linhas de vinha que são importantes para: i) a retenção de água no solo através de grupos como as *grasses* que têm raízes fibrosas que agregam e mudam a estrutura do solo (Celette *et al.*, 2008; McGourty & Reganold, 2005); ii) reduzir o risco de erosão, formando uma barreira física que acentua a queda da precipitação e a força do o vento (Stefanucci *et al.*, 2018); iii) melhorar a fertilidade do

solo com grupos como leguminosas que em associação com rizóbios podem fixar azoto que se adequa às necessidades da vinha (McGourty & Reganold, 2005); e iv) aumentar a probabilidade de colonização de organismos como fungos micorrízicos arbusculares, que se associam às raízes da planta, podendo influenciar a biomassa produzida e o seu desempenho, e alterar as suas inflorescências aumentando o seu tamanho, e a quantidade e qualidade do pólen e néctar que produzem (Gange & Smith, 2005). Estas características vão, por sua vez, atrair organismos polinizadores que beneficiam da produção e ajudam na redução da quebra de produção. Um outro exemplo são rizobactérias, que influenciam diretamente a planta promovendo o seu crescimento e aumentando o potencial para afetar organismos *above-ground* como herbívoros através da indução de produção de hormonas que fazem com que a planta responda mais rapidamente à herbivoria (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). Desta forma, a implementação de práticas agroecológicas que promovam estas interações afetam o ciclo de nutrientes, influenciam a produtividade das plantas e as comunidades presentes no agroecossistema (Bardgett & Wardle, 2010; Orrell & Bennett, 2013). Assim, uma boa gestão do uso do solo permite evitar problemas e estimular efeitos relevantes no sistema *above-ground*. Uma vez que o que está abaixo do solo, como foi observado nesta dissertação, é importante para a sustentabilidade e a resiliência dos agroecossistemas (Kibblewhite et al., 2007), e vários processos dependem desta componente *below-ground*, e é necessário conservá-la da melhor forma aplicando conceitos e práticas agroecológicas, como o uso de enrelvamento, e a redução da mobilização e escarificação do solo (Altieri, 1995; Robinson et al., 2014; Smith et al., 2021).

A associação entre as componentes *below* e *above-ground* foi evidenciada pela métrica Ecovine, havendo correlações significativas e positivas entre estas componentes do agroecossistema. Apesar disso, a métrica apresentou uma relação desequilibrada com estas componentes, havendo uma relação mais forte da métrica com o índice *above-ground*, isto pode fazer com que os resultados da métrica sejam mais dependentes de observações acima do solo. Desta forma, e tendo em conta que houve uma coincidência de talhões com valores mais altos de sustentabilidade, há um foco maior na gestão *above-ground*, reforçando a necessidade de dar ainda mais relevância ao *below-ground* na criação de métricas de sustentabilidade futuras de forma a restaurar um equilíbrio nestas componentes ao nível do agroecossistema. Tal indica que a implementação e conservação de conceitos agroecológicos que englobem estes indicadores é essencial para tornar a vinha mais sustentável e multifuncional, aumentando a qualidade da produção (Altieri, 1995; Altieri, 1999; Stefanucci et al., 2018).

A métrica CAET, não é uma métrica de sustentabilidade em sentido lato, mas sim uma forma prática dos produtores avaliarem se estão a seguir o caminho certo na aplicação de práticas agroecológicas, e verificar se essa aplicação se traduz numa maior sustentabilidade. Os resultados desta métrica não são elevados para a generalidade da Quinta do Seixo, em parte por falta de dados pois esta métrica necessita de muitos dados relativos a fatores sociais que foram pouco explorados no nosso trabalho. Apesar disso, para melhorar os valores da CAET, seria necessário aplicarem-se mais práticas e usar ferramentas que permitissem uma transição para a agroecologia. À escala do talhão, o valor mais alto desta métrica foi atingido num talhão cujo modo de gestão é o biológico, embora não certificado. Apesar de haver algumas diferenças na sua implementação, nomeadamente no uso de fertilizantes inorgânicos ou produtos fitofarmacêuticos de síntese (Parmentier, 2014), a agricultura biológica é um tipo de gestão que utiliza vários dos mesmos princípios que a agroecologia aplica e pode ser incluída nesse conceito (Niggli, 2015). De certa forma, a agricultura biológica é uma forma de intensificação agroecológica, onde existe uma intensificação de modelos de produção existentes, enquanto ao mesmo tempo se reduz os impactos ambientais que tais modelos podem acarretar (Wezel et al., 2015) investindo na estabilidade da produção, diminuindo o uso de fatores externos e potenciando a biodiversidade e os serviços dos ecossistemas.

Ainda assim, é importante que haja uma componente económica associada à sustentabilidade e à gestão vitivinícola procurando que não haja perdas consideráveis de produção. Na EcoVine, tentou-se integrar as componentes *below* e *above-ground* de forma a verificar a forma como estas se relacionavam com a produção e a sua estabilidade. Desta forma, na métrica INSPIA, foram observadas correlações positivas com as componentes da produção pois o indicador da produção foi o único que foi possível de obter da dimensão económica, tendo um peso mais relevante no cálculo da métrica final. Já na FESLM e na componente *below-ground* da métrica EcoVine, foi encontrada uma relação significativa e negativa com os elementos da produção e positiva com a resiliência, o que, em conjunto com o facto de outras métricas não se correlacionarem com estas variáveis, pode significar que de alguma forma, práticas mais sustentáveis podem não ser sinónimo de produção elevada, mas que existe uma relação entre essas práticas e a estabilidade da produção. De facto, este é um debate que tem ganho relevância nos últimos anos, geralmente, considera-se a produção da agricultura biológica que pode não ser equivalente a sustentabilidade, mas como mencionado anteriormente tem uma melhor classificação em certos indicadores relacionados com a sustentabilidade e é a alternativa

mais bem estudada à agricultura convencional (Ponisio et al., 2014). A bibliografia suporta a ideia de que a agricultura biológica pode ter uma produção mais baixa, mas que tem o potencial para igualar a produção da agricultura convencional quando bem aplicada e associada a conceitos agroecológicos como a rotação de culturas e o uso de enrelvamentos e, dessa forma a quebra de produção pode ser reduzida, dependendo das culturas produzidas e das combinações de diferentes formas de gestão da exploração (Ponisio et al., 2014; Seufert et al., 2012). Uma outra componente da vinha, que não pode ser analisada neste trabalho, mas deveria ser contemplada em trabalhos futuros, é a qualidade da uva e do vinho. De facto, existem várias comparações da qualidade dos vinhos que originam da gestão biológica e convencional, mas dependendo da região ou das castas utilizadas, os resultados diferem (Cravero, 2019). Poderão não ocorrer diferenças significativas nos perfis organoléticos de vinhos produzidos por ambos os sistemas de produção (Lante et al., 2004), ou haver níveis mais elevados de polifenóis nos de gestão biológica (Núñez-Delicado et al., 2005) e perfis aromáticos mais intensos nos de agricultura convencional (Moyano et al., 2009). Apesar de muitos estudos oferecerem conclusões relevantes, a maioria foca-se na produção em termos de quantidade e muitas vezes ignora a estabilidade temporal da produção (mas ver Knapp & van der Heijden 2018) face à variabilidade climática e suscetibilidades a pragas e doenças.

Tendo em conta que existem diferenças entre as formas como as métricas de sustentabilidade analisam componentes do agroecossistema, nomeadamente a este nível da resiliência da produção, é necessário examinar a forma como se podem mensurar estes conceitos que, apesar de serem intuitivos e de fácil compreensão, são algo abstratos (Marchese et al., 2018).

4.2. Influência da diversidade de castas na produção e na estabilidade

A diversidade de castas não apresentou relações significativas com os resultados de nenhuma das métricas de sustentabilidade, com exceção da FESLM, encontrando-se ainda uma relação significativa com a produção média. Estes resultados sublinham a necessidade de uma análise mais profunda para averiguar as causas que se possam associar a estas relações ao nível da identidade das castas, mas também dos porta-enxertos utilizados nos talhões. Apesar disso, os resultados não foram os esperados, sugerindo que algum efeito da diversidade de castas na sustentabilidade e resiliência terá sido obscurecido por outros fatores, como o facto de que estas castas estão enxertadas numa diversidade menor de porta-enxertos. A utilização de porta-enxertos é comum na maioria das áreas vitícolas; a maior parte destes porta-enxertos

foram desenvolvidos para evitar os danos causados pela filoxera e têm influência profunda na fisiologia, na produtividade, na resistência a secas e pragas e doenças da vinha (Granett et al., 2001). Desta forma, todos os talhões da Quinta do Seixo tinham videiras enxertadas e esses porta-enxertos têm grande influência no solo e, conseqüentemente, nas características da vinha como a densidade das raízes, no controlo da herbivoria e no seu comportamento face a humidade e salinidade. Os porta-enxertos usados na Quinta do Seixo, como o 1103-P e o R-110, são vigorosos, tendo grande densidade de raízes e conseqüente resistência à seca enquanto outros como o SO4 têm menos vigor, mas adaptam-se a diferentes tipos de solo (Swanepoel & Southey, 2017) ainda existindo talhões com vários porta-enxertos. Desta forma, os porta-enxertos podem mascarar o efeito da diversidade das castas na produção e na sua resiliência, sendo necessário analisar futuramente se de facto, a diversidade de castas é a única variável que influencia a sustentabilidade e a produção ou se existe uma maior relevância dos porta-enxertos, verificando ainda se existe uma influência da sua identidade, que faz com que estes tenham características distintas e afetem diferentes componentes no sistema planta-solo. As características organoléticas e a influência das diferentes identidades de castas no sabor e no perfil do vinho (Pérez-Lamela et al., 2007) é um campo muito estudado e um estudo mais aprofundado deverá ser feito para avaliar se a diversidade planeada da vinha, o número e a identidade das castas plantadas e os porta-enxertos utilizados influenciam as características organoléticas do vinho.

Tendo isto em conta, uma das ferramentas mais usada na agroecologia é a diversidade das culturas, que incluem a associação e a rotação de culturas; o uso de policulturas pode contribuir para melhorar a eficiência do uso de nutrientes e da regulação de pragas, ajudando a estabilizar a produção da cultura (Raseduzzaman & Jensen, 2017; Theunissen, 1994). Numa vinha a aplicação da diversidade, desta forma, não pode ser utilizada dadas as condições em que a vinha tem de ser cultivada, pelo que a diversidade pode ser planeada através do enrelvamento entre as linhas de vinha e/ou aumentando a diversidade de castas. De facto, o enrelvamento é uma prática comum na viticultura e que tem vantagens ao nível de estrutura e do enriquecimento do solo, o que beneficia a vinha; contudo, o aumento da biodiversidade pode ter também algumas desvantagens, devido, por exemplo, à competição por recursos hídricos (Medrano et al., 2014). De forma a prevenir tal stress na vinha, é essencial ter em conta as características climáticas da região, particularmente em zonas secas e quentes. Assim, será necessário planear a gestão do enrelvamento que pode ser semeado ou espontâneo,

permanente ou temporário, parcial ou completo (Metay et al., 2017; Novara et al., 2021), e mediar a diversidade de espécies que o compõe. Escolher as espécies que compõe o enrelvamento pode ser um trabalho complexo principalmente numa vinha graças às interações que as espécies podem ter não só com o pH, a humidade, e a textura do solo, mas também com os porta-enxertos (Pardini et al., 2002). Por ser tão relevante em todas estas variáveis, a diversidade e a composição funcional do enrelvamento foram também incluídas na EcoVine.

Existe uma ligação da diversidade à sustentabilidade agrícola e à provisão dos serviços dos ecossistemas, que passam pela provisão de produtos, controlo da erosão, regulação da fertilidade do solo, e regulação de pragas e doenças (Altieri, 1999; Duru et al., 2015). As funções dos ecossistemas podem não ser derivadas do número de espécies ou dos genótipos que os compõe, mas sim de uma diversidade funcional, que pode mediar os efeitos da diversidade intra e interespecífica nessas funções (Stefanucci et al., 2018; Wall et al., 2015). Desta forma, o aumento da diversidade nos sistemas agrícolas é um princípio chave da intensificação ecológica, contribuindo para melhorar o desempenho e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Bommarco et al., 2013). Foram criados modelos que mostram que uma maior diversidade irá melhorar a produtividade e a eficiência do uso de recursos por parte das plantas (Tilman et al., 1997). Apesar disso, a maioria dos modelos aplicam-se a interações interespecíficas e quando falamos de diversidade de castas, estamos a falar de interações intraespecíficas. De facto, vários estudos abordam a importância da diversidade genética intraespecífica demonstrando que esta é relevante. Na verdade, castas distintas têm diferenças nas folhas e na composição da cutícula do fruto que as tornam mais ou menos suscetíveis a ataques de insetos ou a doenças (Tonina et al., 2020; Weißinger et al., 2021). Tendo isto em conta, é necessário dar um maior destaque à relação desta diversidade intraespecífica com a produtividade. A diversidade de genótipos intraespecíficos em culturas de cevada pode afetar a produtividade através de efeitos de complementaridade (causado por diferenciação do nicho ou interações de facilitação entre espécies, populações ou indivíduos) e por efeitos de seleção (causado por espécies ou populações com traços particulares que contribuem desproporcionalmente para a produtividade (Schöb et al., 2014; Tilman, 2001). Foi feita também uma meta-análise do efeito de diversidade na produção agrícola, e demonstrou-se que a produção aumentou 2,2% num nas misturas de cultivares em relação às suas monoculturas (Reiss & Drinkwater, 2017). Além disso, o aumento da diversidade das cultivares levou a uma maior estabilidade na produção em presença de agentes de *stress* (Reiss & Drinkwater, 2017).

A nível da saúde e qualidade do solo, os perfis faunísticos demonstraram que os solos dos talhões, quando agrupados pela diversidade de castas, têm redes tróficas que estão a ser sujeitas a *stress* e têm pouco poder de regulação, inferido pelos índices de estrutura baixos; além disso, existe uma escassez de nutrientes generalizada nas redes tróficas (Ferris, 2010). Isto pode estar relacionado com o facto do solo xistoso, característico da RDD ser considerado pobre em matéria orgânica (Figueiredo, 2013) e nutrientes. Além disto, a manutenção de solos relativamente pobres em nutrientes poderá contribuir para que a vinha não seja demasiado vigorosa e produza menos uva, mas de maior qualidade (Dry & Loveys, 1998). Tendo isso em conta, este tipo de solos é propício ao ataque de pragas e doenças e a sua capacidade de resiliência a estas ameaças é limitada. As pegadas funcionais da diversidade de nemátodes apresentaram-se desequilibradas em praticamente todos os grupos de diversidade, à exceção do grupo de talhões com três castas, que apresentou o romboide mais equilibrado. Isto significa que os nemátodes de níveis tróficos superiores têm alimento suficiente e não sofrem impactos relevantes e, por isso, o sistema está em equilíbrio metabólico (Ferris, 2010). Desta forma, o grupo de talhões com três castas também apresentou as pegadas metabólicas mais distintas com os valores mais elevados de predadores e de omnívoros, capazes de regular os nemátodes parasitas de plantas.

4.3. Conclusões

A vitivinicultura é uma parte essencial do motor económico de Portugal e também a nível mundial, pelo que há uma tendência crescente de tornar a vinha numa cultura mais sustentável de forma a podermos continuar a usufruir dos seus produtos no futuro. Desta forma, foi criada uma métrica de sustentabilidade, a EcoVine, e fez-se uma avaliação comparativa desta com outras quatro métricas de forma a inferir sobre a sua aplicabilidade. A Quinta do Seixo não teve valores muito elevados de sustentabilidade apesar de seguir um modelo de gestão mais sustentável que a agricultura convencional. Verificou-se que a métrica pode ser usada para medir a sustentabilidade da vinha, mas que existem algumas situações que podem ser melhoradas. O ideal seria que a EcoVine fosse mais sensível às interações *below* e *above-ground*. Verificou-se ainda que houve uma relação mais forte da métrica EcoVine criada com a componente *above-ground*, o que não era o esperado. Será necessário estudar formas de integrar melhor as interações abaixo do solo nas métricas de sustentabilidade, visto que esta componente se

correlaciona com a resiliência e estabilidade da produção da Quinta do Seixo, o que sugere que o mesmo possa acontecer quando aplicado a outras explorações.

Os resultados da influência da diversidade de castas, não foram os esperados visto que não se verificou, uma influência desta diversidade planeada em todas as métricas de sustentabilidade nem especificamente na componente de resiliência da produção da Quinta do Seixo. Estes resultados podem ter sido causados por limitações do desenho experimental ou pelo efeito dos porta-enxertos nos cultivares. Apesar disso, o solo em talhões com maior diversidade de castas mostrou-se empobrecido e pouco estruturado o que pode estar relacionado com o facto da zona da RDD ter solos pobres em matéria orgânica.

Desta forma, apesar de ter algumas limitações, a métrica EcoVine inclui indicadores relevantes para a agroecologia do sistema podendo ser estudada no contexto de outras explorações agrícolas de vinha, não só para comparar valores de sustentabilidade, mas também a nível dos indicadores que a compõe para que seja possível averiguar com mais certezas de que forma é que esta pode dar mais relevância à componente do solo. No futuro incentiva-se que seja feito um estudo da influência dos porta-enxertos e sua identidade nos valores de métricas de sustentabilidade e nas componentes da produção, de forma a clarificar qual é o seu efeito nos resultados obtidos nesta dissertação. Além disto, deve ser feito um estudo mais aprofundado dos efeitos desta diversidade das castas ao nível das características organoléticas do vinho de forma a verificar se uma maior diversidade tem influência no produto final para o consumidor.

5. Referências Bibliográficas

- Abbona, E. A., Sarandón, S. J., Marasas, M. E., & Astier, M. (2007). Ecological sustainability evaluation of traditional management in different vineyard systems in Berisso, Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119(3), 335–345. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.08.001>
- Afzal, S., Nesar, H., Imran, Z., & Ahmad, W. (2021). Altitudinal gradient affect abundance, diversity and metabolic footprint of soil nematodes in Banihal-Pass of Pir-Panjal mountain range. *Scientific Reports*, 11(1), 16214. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-95651-x>
- Aguiar, A., Godinho, M. do C., & Costa, C. A. D. (2005). Produção Integrada. In *repositorio.ipv.pt*. Sociedade Portuguesa de Inovação.
- Allison, Steven D. (2006). Brown Ground: A Soil Carbon Analogue for the Green World Hypothesis? *The American Naturalist*, 167(5), 619–627. <https://doi.org/10.1086/503443>

- Altieri, M. A. (1995). *Agroecology The Science Of Sustainable Agriculture* (Second Edition). Boulder Crc Press.
- Altieri, M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Invertebrate Biodiversity as Bioindicators of Sustainable Landscapes*, 19–31. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-50019-9.50005-4>
- Altieri, M. A. (2012). *The scaling up of agroecology: spreading the hope for food sovereignty and resiliency*. SOCLA.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2012). Agroecology Scaling Up for Food Sovereignty and Resiliency. *Sustainable Agriculture Reviews*, 11, 1–29. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_1
- Altieri, M. A., & Rosset, P. (1996). Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies*, 50(3-4), 165–185. <https://doi.org/10.1080/00207239608711055>
- Arias, M. E., González-Pérez, J. A., González-Vila, F. J., & Ball, A. S. (2005). Soil health—a new challenge for microbiologists and chemists. *International Microbiology*, 8, 13–21.
- Bach, E. M., Williams, R. J., Hargreaves, S. K., Yang, F., & Hofmockel, K. S. (2018). Greatest soil microbial diversity found in micro-habitats. *Soil Biology and Biochemistry*, 118, 217–226. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.12.018>
- Bardgett, R., Bowman, W., Kaufmann, R., & Schmidt, S. (2005). A temporal approach to linking aboveground and belowground ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(11), 634–641. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.005>
- Bardgett, R. D., & Wardle, D. A. (2010). *Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global Change*. Oxford University Press.
- Bauer, A., & Black, A. L. (1992). Organic Carbon Effects on Available Water Capacity of Three Soil Textural Groups. *Soil Science Society of America Journal*, 56(1), 248–254. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600010038x>
- Baxter, J. (2014). Vegetation Sampling Using the Quadrat Method. In *Common Abundance & Diversity Measures in Vegetation Analysis*. Methods in EEC (BIO 221B).
- Bennett, E. M., Baird, J., Baulch, H., Chaplin-Kramer, R., Fraser, E., Loring, P., Morrison, P., Parrott, L., Sherren, K., Winkler, K. J., Cimon-Morin, J., Fortin, M.-J., Kurylyk, B. L., Lundholm, J., Poulin, M., Rieb, J. T., Gonzalez, A., Hickey, G. M., Humphries, M., & Bahadur KC, K. (2021, January 1). *Chapter One - Ecosystem services and the resilience of agricultural landscapes* (D. A. Bohan & A. J. Vanbergen, Eds.). ScienceDirect; Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065250421000015?via%3Dihub#bb0195>

- Bockstaller, C., Girardin, P., & van der Werf, H. M. G. (1997). Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *Developments in Crop Science*, 25, 329–338.
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(4), 230–238. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2012.10.012>
- Bongers, T. (1990). The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*, 83(1), 14–19. <https://doi.org/10.1007/bf00324627>
- Bongers, T., & Bongers, M. (1998). Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology*, 10(3), 239–251. [https://doi.org/10.1016/s0929-1393\(98\)00123-1](https://doi.org/10.1016/s0929-1393(98)00123-1)
- Bongers, T., & Ferris, H. (1999). Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *Trends in Ecology & Evolution*, 14(6), 224–228. [https://doi.org/10.1016/s0169-5347\(98\)01583-3](https://doi.org/10.1016/s0169-5347(98)01583-3)
- Borsato, E., Zucchinielli, M., D'Ammaro, D., Giubilato, E., Zabeo, A., Criscione, P., Pizzol, L., Cohen, Y., Tarolli, P., Lamastra, L., & Marinello, F. (2020). Use of multiple indicators to compare sustainability performance of organic vs conventional vineyard management. *Science of the Total Environment*, 711, 135081. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135081>
- Cabell, J. F., & Oelofse, M. (2012). An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. *Ecology and Society*, 17(1).
- Celette, F., Gaudin, R., & Gary, C. (2008). Spatial and temporal changes to the water regime of a Mediterranean vineyard due to the adoption of cover cropping. *European Journal of Agronomy*, 29(4), 153–162. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007>
- Cesarz, S., Reich, P. B., Scheu, S., Ruess, L., Schaefer, M., & Eisenhauer, N. (2015). Nematode functional guilds, not trophic groups, reflect shifts in soil food webs and processes in response to interacting global change factors. *Pedobiologia*, 58(1), 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2015.01.001>
- Chappell, M. J., & LaValle, L. A. (2009). Food security and biodiversity: can we have both? An agroecological analysis. *Agriculture and Human Values*, 28(1), 3–26. <https://doi.org/10.1007/s10460-009-9251-4>
- Chiesura, A., & de Groot, R. (2003). Critical natural capital: a socio-cultural perspective. *Ecological Economics*, 44(2-3), 219–231. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(02\)00275-6](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(02)00275-6)
- Comberty, C., Thornton, T. F., Wyllie de Echeverria, V., & Patterson, T. (2015). Ecosystem services or services to ecosystems? Valuing cultivation and reciprocal relationships between humans and ecosystems. *Global Environmental Change*, 34, 247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.07.007>

- Comunidade Intermunicipal do Douro. (2015). *Estratégia Integrada de Desenvolvimento Territorial da Região do Douro (2014-2020)*. Comunidade Intermunicipal do Douro.
- Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, E. A., & Van Eerd, L. L. (2015). Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil and Tillage Research*, 152, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.03.012>
- Córdoba, C., Triviño, C., & Toro Calderón, J. (2020). Agroecosystem resilience. A conceptual and methodological framework for evaluation. *PLOS ONE*, 15(4), e0220349. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220349>
- Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., & O'Neill, R. (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 387, 253–260.
- Coyne, D. L., Nicol, J. M., & Claudius-Cole, B. (2007). *Nematologia prática: Um guia de campo e de laboratório*.
- Cravero, M. C. (2019). Organic and biodynamic wines quality and characteristics: A review. *Food Chemistry*, 295, 334–340. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.149>
- Creamer, N. G., Bennett, M. A., & Stinner, B. R. (1997). Evaluation of Cover Crop Mixtures for Use in Vegetable Production Systems. *HortScience*, 32(5), 866–870. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.32.5.866>
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, 64(2), 286–296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B., & Milestad, R. (2010). Adaptiveness to enhance the sustainability of farming systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30(3), 545–555. <https://doi.org/10.1051/agro/2009053>
- Darnhofer, I., Fairweather, J., & Moller, H. (2010). Assessing a farm's sustainability: insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(3), 186–198. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0480>
- Dedeyn, G., & Van der Putten, W. (2005). Linking aboveground and belowground diversity. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(11), 625–633. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.08.009>
- de Mendiburu, F. (2021). *agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Derissen, S., Quaas, M. F., & Baumgärtner, S. (2011). The relationship between resilience and sustainability of ecological-economic systems. *Ecological Economics*, 70(6), 1121–1128. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.01.003>
- DGADR. (2005). *Produção integrada da cultura da vinha* (M. Cavaco, F. Calouro, & P. Climaco, Eds.). Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas.

- DGT. (2018). *Carta de Uso e Ocupação do Solo do Douro* [Map]. Sistema Nacional de Informação Geográfica. <http://mapas.dgterritorio.pt/wms-inspire/cos2018v1?service=WMS&REQUEST=GetCapabilities&VERSION=1.3.0>
- Dickenson, J. (1992). Guest editorial: progress in viticultural geography. *Journal of Wine Research*, 3(3), 159–162. <https://doi.org/10.1080/09571269208717930>
- Dry, P. R., & Loveys, B. R. (1998). Factors influencing grapevine vigour and the potential for control with partial rootzone drying. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 4(3), 140–148. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0238.1998.tb00143.x>
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J. P. (2015). How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1259–1281. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- EISA. (2012). *Sustainable agriculture: What is it all about?* European Initiative for Sustainable Development in Agriculture.
- EPPO. (2008). Pathogen-tested material of grapevine varieties and rootstocks. *EPPO Bulletin*, 38(3), 422–429. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2008.01258.x>
- FAO. (2018). *The 10 Elements of Agroecology: Guiding the transition to sustainable food and agricultural systems*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2019). *TAPE Tool for Agroecology Performance Evaluation 2019 – Process of development and guidelines for application. Test version*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Ferris, H. (2010). Form and function: Metabolic footprints of nematodes in the soil food web. *European Journal of Soil Biology*, 46(2), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.01.003>
- Ferris, H. (2011). *Key to Families of Soil Nematodes Revised*. Nemaplex; University of California Davis. <http://nemaplex.ucdavis.edu/Taxadata/Famkey.htm>
- Ferris, H., & Bongers, T. (2006). Nematode Indicators of Organic Enrichment. *Journal of Nematology*, 38(1), 3–12. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2586436/>
- Ferris, H., Bongers, T., & de Goede, R. G. M. (2001). A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology*, 18(1), 13–29. [https://doi.org/10.1016/s0929-1393\(01\)00152-4](https://doi.org/10.1016/s0929-1393(01)00152-4)
- Ferris, H., Venette, R. C., & Scow, K. M. (2004). Soil management to enhance bacterivore and fungivore nematode populations and their nitrogen mineralisation function. *Applied Soil Ecology*, 25(1), 19–35. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.07.001>
- Figueiredo, T. (2013). *Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano* (Vol. 84). IPB.

- Folke, C. (2003). Freshwater for resilience: a shift in thinking. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1440), 2027–2036. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1385>
- Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., & Holling, C. S. (2004). Regime Shifts, Resilience, and Biodiversity in Ecosystem Management. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1), 557–581. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711>
- Forbes, S. L., Cohen, D. A., Cullen, R., Wratten, S. D., & Fountain, J. (2009). Consumer attitudes regarding environmentally sustainable wine: an exploratory study of the New Zealand marketplace. *Journal of Cleaner Production*, 17(13), 1195–1199. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.04.008>
- Freckman, D. W., & Caswell, E. P. (1985). The Ecology of Nematodes in Agroecosystems. *Annual Review of Phytopathology*, 23(1), 275–296. <https://doi.org/10.1146/annurev.py.23.090185.001423>
- Fründ, H.-C., Graefe, U., & Tischer, S. (2010). Earthworms as Bioindicators of Soil Quality. In A. Karaca (Ed.), *Biology of Earthworms* (pp. 261–278). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14636-7_16
- Gange, A. C., & Smith, A. K. (2005). Arbuscular mycorrhizal fungi influence visitation rates of pollinating insects. *Ecological Entomology*, 30(5), 600–606. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2005.00732.x>
- Garibaldi, L. A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B. E., Cunningham, S. A., & Breeze, T. D. (2017). Farming Approaches for Greater Biodiversity, Livelihoods, and Food Security. *Trends in Ecology & Evolution*, 32(1), 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001>
- Gary, C., Metral, R., Metay, A., Garcia, L., Mérot, A., Smits, N., & Wéry, J. (2017). Towards an agroecological viticulture: advances and challenges. *Proceedings of the 20th GiESCO International Meeting*, 1122–1127. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.001>
- Gliessman, S. R. (2014). *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems, Third Edition*. CRC Press.
- Gomez, A. A., Kelly, D. E. S., Syers, J. K., & Coughlan, K. J. (1996). Measuring Sustainability of Agricultural Systems at the Farm Level. In *Methods for Assessing Soil Quality, Volume 49* (pp. 401–410). SSSA Special Publications. <https://doi.org/10.2136/sssaspecpub49.c26>
- Goodey, T., & Goodey, J. B. (1951). *Soil and freshwater nematodes*. Methuen & Co.
- Granett, J., Walker, M. A., Kocsis, L., & Omer, A. D. (2001). Biology and Management of Grape Phylloxera. *Annual Review of Entomology*, 46(1), 387–412. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.46.1.387>

- Grass, I., Loos, J., Baensch, S., Batáry, P., Librán-Embid, F., Ficiciyan, A., Klaus, F., Riechers, M., Rosa, J., Tiede, J., Udy, K., Westphal, C., Wurz, A., & Tschardtke, T. (2019). Land-sharing/-sparing connectivity landscapes for ecosystem services and biodiversity conservation. *People and Nature*. <https://doi.org/10.1002/pan3.21>
- Guggenberger, G. (2005). Humification and Mineralization in Soils. In A. Varma & F. Buscot (Eds.), *Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions* (Vol. 2, pp. 85–106). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-26609-7_4
- Haines-Young, R., & Potschin, M.B. (2018) *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure*. Disponível em www.cices.eu
- Hall, C. M. (2002). *Wine tourism around the world : development, management and markets*. Butterworth-Heinemann.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4(1), 9.
- Heidemann, K., Hennies, A., Schakowske, J., Blumenberg, L., Ruess, L., Scheu, S., & Maraun, M. (2014). Free-living nematodes as prey for higher trophic levels of forest soil food webs. *Oikos*, 123(10), 1199–1211. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0706.2013.00872.x>
- Holling, C. S. (1973). Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>
- Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous Inference in General Parametric Models. *Biometrical Journal*, 50(3), 346–363.
- INE. (2020). Instituto Nacional de Estatística. www.ine.pt/
- IPMA. (2020). *Monitorização do clima-Vila Real*. [Www.ipma.pt](http://www.ipma.pt); Instituto Português do Mar e da Atmosfera. <https://www.ipma.pt/pt/oclima/monitorizacao/>
- IVDP. (2010). *Região Demarcada do Douro*. Instituto Dos Vinhos Do Douro E Do Porto. <https://www.ivdp.pt/consumidor/regiao-limite-da-regiao-demarcada-do-douro>
- Jackson, R. S. (2014). Vineyard Practice. In *Wine Science* (pp. 143–306). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-381468-5.00004-x>
- Jangir, C. K., Kumar, S., & Meena, R. S. (2019). Significance of Soil Organic Matter to Soil Quality and Evaluation of Sustainability. In *Sustainable agriculture*. Scientific Publishers.
- Jones, G. (2013). *Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro: Uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho*. ADVID- Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense.

- Juwana, I., Muttill, N., & Perera, B. J. C. (2012). Indicator-based water sustainability assessment – A review. *Science of the Total Environment*, 438, 357–371. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.093>
- Khanum, T. A., Mehmood, N., & Khatoon, N. (2021). Nematodes as Biological Indicators of Soil Quality in the Agroecosystems. In C. Bellé (Ed.), *Nematodes - Recent Advances, Management and New Perspectives*. IntechOpen. <https://www.intechopen.com/online-first/78346>
- Kibblewhite, M. G., Ritz, K., & Swift, M. J. (2007). Soil health in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1492), 685–701. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2178>
- Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & van der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.002>
- Knapp, S., & van der Heijden, M. G. A. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation agriculture. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1>
- Korres, W., Koyama, C. N., Fiener, P., & Schneider, K. (2010). Analysis of surface soil moisture patterns in agricultural landscapes using Empirical Orthogonal Functions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(5), 751–764. <https://doi.org/10.5194/hess-14-751-2010>
- Kramarenko, V. V., Nikitenkov, A. N., Matveenkov, I. A., Molokov, V. Y., & Vasilenko, Y. S. (2016). Determination of water content in clay and organic soil using microwave oven. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 43(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/43/1/012029>
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem Services in Biologically Diversified versus Conventional Farming Systems: Benefits, Externalities, and Trade-Offs. *Ecology and Society*, 17(4). <https://doi.org/10.5751/es-05035-170440>
- Kristensen, E., & Ø. Andersen, F. (1987). Determination of organic carbon in marine sediments: a comparison of two CHN-analyzer methods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 109(1), 15–23. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90182-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(87)90182-1)
- Laishram, J., Rao, K. S., Saxena, K. G., & Maikhuri, R. K. (2012). Soil quality and soil health: A review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 38(1).
- Lal, R. (2020). Soil organic matter content and crop yield. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(2), 27A32A. <https://doi.org/10.2489/jswc.75.2.27a>
- Lamb, D., Hall, A., & Louis, J. (2001). Airborne remote sensing of vines for canopy variability and productivity. *Australian Grapegrower and Winemaker*, 49(a).

- Lante, A., Crapisi, A., Lomolino, G., & Spettoli, P. (2004). Chemical parameters, biologically active polyphenols and sensory characteristics of some Italian organic wines. *Journal of Wine Research*, 15(3), 203–209. <https://doi.org/10.1080/09571260500142054>
- Lebel, L., Anderies, J. M., Campbell, B., Folke, C., Hatfield-Dodds, S., Hughes, T. P., & Wilson, J. (2006). Governance and the Capacity to Manage Resilience in Regional Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, 11(1). <https://doi.org/10.5751/es-01606-110119>
- Liebman, M., & Schulte, L. A. (2015). Enhancing agroecosystem performance and resilience through increased diversification of landscapes and cropping systems. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 3. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000041>
- Liere, H., Jha, S., & Philpott, S. M. (2017). Intersection between biodiversity conservation, agroecology, and ecosystem services. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 41(7), 723–760. <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1330796>
- Li, M., Peterson, C. A., Tautges, N. E., Scow, K. M., & Gaudin, A. C. M. (2019). Yields and resilience outcomes of organic, cover crop, and conventional practices in a Mediterranean climate. *Scientific Reports*, 9(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48747-4>
- Lopes, C. M., Monteiro, A., Machado, J. P., Fernandes, N., & Araújo, A. (2008). Cover Cropping in a sloping non-irrigated Vineyard: II-Effects on Vegetative Growth, Yield, Berry and Wine Quality of “Cabernet Sauvignon” grapevines. *Ciência Técnica Vitivinícola*, 23(1), 37–43.
- Lopes, C. M., Santos, T. P., Monteiro, A., Rodrigues, M. L., Costa, J. M., & Chaves, M. M. (2011). Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 603–612. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.04.033>
- Magalhães, N. (2012). *Manual de Boas Práticas Vitícolas*. Instituto dos Vinhos do Douro.
- Mai, W. F., Mullin, P. G., Lyon, H. H., & Loeffler, K. (2005). *Plant-Parasitic Nematodes A Pictorial Key to Genera*. Ithaca; London Cornell University Press.
- Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S., & Linkov, I. (2018). Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications. *Science of the Total Environment*, 613-614, 1275–1283. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.086>
- Marta-Costa, A. A. (2010). Application of decision support methods for sustainable agrarian systems. *New Medit*, 9(2), 42–49.
- Martins, M. (2005). *Processos de Erosão Acelerada na Região Demarcada do Douro*. <http://10.13140/RG.2.1.1365.7122>
- Mazzetto, F., Calcante, A., Mena, A., & Vercesi, A. (2010). Integration of optical and analogue sensors for monitoring canopy health and vigour in precision viticulture. *Precision Agriculture*, 11(6), 636–649. <https://doi.org/10.1007/s11119-010-9186-1>

- McGourty, G. (2004). Cover cropping systems for organically farmed vineyards. In *Practical Winery & Vineyard*.
- McGourty, G. T., & Reganold, J. P. (2005). Managing vineyard soil organic matter with cover crops. *Proceedings of the Soil Environment and Vine Mineral Nutrition Symposium*, 145–151.
- MEA. (2005). *Ecosystems and Human Well-being*. Island Press.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J.-M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J., & Bota, J. (2014). Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(2), 499–517. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z>
- Metay, A., Durocher, E., Garcia, L., Fried, G., Richarte, J., Ohl, B., Bouisson, Y., Enard, C., Metral, R., Gary, C., & Kazakou, E. (2017). Spontaneous cover-crop characterization is relevant to define a soil management strategy in vineyard. *20th GiESCO International Meeting*.
- Mockshell, J., & Villarino, M. E. J. (2019). Agroecological Intensification: Potential and Limitations to Achieving Food Security and Sustainability. In P. Ferranti, E. M. Berry, & J. R. Anderson (Eds.), *Encyclopedia of Food Security and Sustainability Vol. 3*. Elsevier.
- Moreira, N., & Guedes de Pinho, P. (2011). Port Wine. In R. S. Jackson (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 63, pp. 119–146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384927-4.00005-1>
- Morris, C., & Winter, M. (1999). Integrated farming systems: the third way for European agriculture? *Land Use Policy*, 16(4), 193–205. [https://doi.org/10.1016/s0264-8377\(99\)00020-4](https://doi.org/10.1016/s0264-8377(99)00020-4)
- Moyano, L., Zea, L., Villafuerte, L., & Medina, M. (2009). Comparison of Odor-Active Compounds in Sherry Wines Processed from Ecologically and Conventionally Grown Pedro Ximenez Grapes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(3), 968–973. <https://doi.org/10.1021/jf802252u>
- Museu Do Douro. (2015). *Região Demarcada do Douro*. Museu Do Douro. <https://museudodouro.pt/regiao-demarcada-do-douro>
- Neher, D. A. (2001). Role of Nematodes in Soil Health and Their Use as Indicators. *Journal of Nematology*, 33(4), 161–168.
- Neher, D., Bongers, T., & Ferris, H. (2004). *Computation of Nematode community indices Instructors*. Society of Nematologists.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (2018). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In J. M. Bigham (Ed.), *Soil Science Society of America and American Society of Agronomy: Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods* (pp. 961–1010). SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>

- Nicholls, C. I., Altieri, M. A., Dezanet, A., Lana, M., Feistauer, D., & Ouriques, M. (2004). A rapid, farmer-friendly agroecological method to estimate soil quality and crop health in vineyard systems. *Biodynamics*, 20, 33–39.
- Niggli, U. (2015). Incorporating Agroecology Into Organic Research –An Ongoing Challenge. *Sustainable Agriculture Research*, 4(3). <https://doi.org/10.22004/ag.econ.230389>
- Niggli, U., Earley, J., & Ogorzalek, K. (2007). Organic agriculture and stability of food supply. *FAO*. International conference on organic agriculture and food security, Rome, Italy.
- Novara, A., Cerda, A., Barone, E., & Gristina, L. (2021). Cover crop management and water conservation in vineyard and olive orchards. *Soil and Tillage Research*, 208, 104896. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104896>
- Núñez-Delicado, E., Sánchez-Ferrer, A., García-Carmona, F. F., & López-Nicolás, J. M. (2005). Effect of Organic Farming Practices on the Level of Latent Polyphenol Oxidase in Grapes. *Journal of Food Science*, 70(1), C74–C78. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09024.x>
- OIV. (2021). *State of the World Viticultural Sector in 2020*.
- O’Kelly, B. C. (2004). Accurate Determination of Moisture Content of Organic Soils Using the Oven Drying Method. *Drying Technology*, 22(7), 1767–1776. <https://doi.org/10.1081/drt-200025642>
- ONU. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. Organização das Nações Unidas.
- Orrell, P., & Bennett, A. E. (2013). How can we exploit above–belowground interactions to assist in addressing the challenges of food security? *Frontiers in Plant Science*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00432>
- Pardini, A., Faiello, C., Snowball, R., Mancuso, S., & Longhi, F. (2002). Cover crop species and their management in vineyards and olive groves. *Advances in Horticultural Science*, 17(3), 1–10. <https://doi.org/10.1400/14122>
- Parmentier, S. (2014). *Scaling up agro-ecological approaches: what, why and how?* Oxfam.
- Pérez-Lamela, C., García-Falcón, M. S., Simal-Gándara, J., & Orriols-Fernández, I. (2007). Influence of grape variety, vine system and enological treatments on the colour stability of young red wines. *Food Chemistry*, 101(2), 601–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.020>
- Peterson, C. A., Eviner, V. T., & Gaudin, A. C. M. (2018). Ways forward for resilience research in agroecosystems. *Agricultural Systems*, 162, 19–27. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.011>
- Ponisio, L. C., M’Gonigle, L. K., Mace, K. C., Palomino, J., de Valpine, P., & Kremen, C. (2014). Diversification practices reduce organic to conventional yield gap. *Proceedings of the*

- Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1799), 20141396–20141396.
<https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1396>
- Pozo, M. J., & Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), 393–398. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.05.004>
- Prata-Sena, M., Castro-Carvalho, B. M., Nunes, S., Amaral, B., & Silva, P. (2018). The terroir of Port wine: Two hundred and sixty years of history. *Food Chemistry*, 257, 388–398. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.014>
- Raseduzzaman, Md., & Jensen, E. S. (2017). Does intercropping enhance yield stability in arable crop production? A meta-analysis. *European Journal of Agronomy*, 91, 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.009>
- Rawls, W. J., Pachepsky, Y. A., Ritchie, J. C., Sobecki, T. M., & Bloodworth, H. (2003). Effect of soil organic carbon on soil water retention. *Geoderma*, 116(1-2), 61–76. [https://doi.org/10.1016/s0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/s0016-7061(03)00094-6)
- Redžepagić, S., & Simões, M. N. C. (2013). *Agriculture in Serbia and Portugal : recent developments and economic policy implications*. Faculty Of Economics Of The University Of Coimbra.
- Reiss, E. R., & Drinkwater, L. E. (2017). Cultivar mixtures: a meta-analysis of the effect of intraspecific diversity on crop yield. *Ecological Applications*, 28(1), 62–77. <https://doi.org/10.1002/eap.1629>
- Rengel, Z. (2011). Soil pH, Soil Health and Climate Change. In *Soil Biology* (pp. 69–85). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_4
- Robinson, D. A., Fraser, I., Dominati, E. J., Davíðsdóttir, B., Jónsson, J. O. G., Jones, L., Jones, S. B., Tuller, M., Lebron, I., Bristow, K. L., Souza, D. M., Banwart, S., & Clothier, B. E. (2014). On the Value of Soil Resources in the Context of Natural Capital and Ecosystem Service Delivery. *Soil Science Society of America Journal*, 78(3), 685–700. <https://doi.org/10.2136/sssaj2014.01.0017>
- Romero, P., Navarro, J. M., & Ordaz, P. B. (2022). Towards a sustainable viticulture: The combination of deficit irrigation strategies and agroecological practices in Mediterranean vineyards. A review and update. *Agricultural Water Management*, 259, 107216. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107216>
- Rosas-Ramos, N., Baños-Picón, L., Trivellone, V., Moretti, M., Tormos, J., & Asís, J. D. (2019). Ecological infrastructures across Mediterranean agroecosystems: Towards an effective tool for evaluating their ecological quality. *Agricultural Systems*, 173, 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.017>
- Rose, D. C., Sutherland, W. J., Barnes, A. P., Borthwick, F., Ffoulkes, C., Hall, C., Moorby, J. M., Phillipa Nicholas-Davies, Twining, S., & Dicks, L. V. (2019). Integrated farm management for sustainable agriculture: Lessons for knowledge exchange and policy. *Land Use Policy*, 81, 834–842. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.11.001>

- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., Blanchart, E., Hinsinger, P., & Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456–465. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.09.047>
- Santiago-Brown, I., Jerram, C., Metcalfe, A., & Collins, C. (2014). What Does Sustainability Mean? Knowledge Gleaned From Applying Mixed Methods Research to Wine Grape Growing. *Journal of Mixed Methods Research*, 9(3), 232–251. <https://doi.org/10.1177/1558689814534919>
- Santos, M., Galindro, A., Santos, C., Marta-Costa, A., & Martinho, V. (2019). Sustainability Evolution of North and Alentejo Vineyard Regions. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 50, 49–63.
- Schaller, N. (1993). The concept of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 46(1-4), 89–97. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(93\)90016-i](https://doi.org/10.1016/0167-8809(93)90016-i)
- Schöb, C., Kerle, S., Karley, A. J., Morcillo, L., Pakeman, R. J., Newton, A. C., & Brooker, R. W. (2014). Intraspecific genetic diversity and composition modify species-level diversity–productivity relationships. *New Phytologist*, 205(2), 720–730. <https://doi.org/10.1111/nph.13043>
- SERAS- Scientific Engineering Response and Analytical Services. (2002). *Standard Operating Procedures: Soil pH Determination*. <https://clu-in.org/download/ert/1844-r00.pdf>
- Seufert, V., Ramankutty, N., & Foley, J. A. (2012). Comparing the yields of organic and conventional agriculture. *Nature*, 485(7397), 229–232. <https://doi.org/10.1038/nature11069>
- Sieriebriennikov, B., Ferris, H., & de Goede, R. G. M. (2014). NINJA: An automated calculation system for nematode-based biological monitoring. *European Journal of Soil Biology*, 61, 90–93. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.02.004>
- Signorell, A. (2021). DescTools: Tools for descriptive statistics. In <https://CRAN.R-project.org/package=DescTools>. R package version 0.99.44.
- Smith, P., Keesstra, S. D., Silver, W. L., & Adhya, T. K. (2021). The role of soils in delivering Nature's Contributions to People. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 376(1834), 20200169. <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0169>
- Smyth, A. J., Dumanski, J., & Food And Agriculture Organization Of The United Nations. Land And Water Development Division. (1993). *FESLM : an international framework for evaluating sustainable land management*. Land And Water Development Division, Food And Agriculture Organization Of The United Nations.
- Sociedade Portuguesa de Botânica. (2014). *Flora-On / Flora de Portugal interactiva*. Flora-On.pt; Sociedade Portuguesa de Botânica. <https://flora-on.pt>

- Sogrape Vinhos S.A. (2021). *A Quinta do Seixo*. Sograpevinhos.com. <https://www.sograpevinhos.com/regioes/Douro/locais/Quinta%20do%20Seixo>
- Spoelstra, S. F., & Elzen, B. (2010). *Combining top-down and bottom-up approaches towards sustainable livestock production: A learning and experimentation strategy (LES)*. ISDA, Montpellier, France.
- Stefanucci, S., Graça, A., Novello, V., Belda, I., Carlos, C., & Gautier, J. (2018). *Functional biodiversity in the vineyard*. International Organisation of Vine and Wine publications.
- Swanepoel, J. J., & Southey, J. M. (2017). The Influence of Rootstock on the Rooting Pattern of the Grapevine. *South African Journal of Enology & Viticulture*, 10(1). <https://doi.org/10.21548/10-1-2295>
- Theunissen, J. (1994). Intercropping in field vegetable crops: Pest management by agrosystem diversification-an overview. *Pesticide Science*, 42(1), 65–68. <https://doi.org/10.1002/ps.2780420111>
- Tilman, D. (2001). Effects of diversity and composition on grassland stability and productivity. In M. C. Press, N. J. Huntly, & S. Levin (Eds.), *Ecology: Achievement and Challenge* (pp. 183–207). Blackwell Science.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(50), 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Tilman, D., Knops, J., Wedin, D., Reich, P., Ritchie, M., & Siemann, E. (1997). The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. *Science*, 277(5330), 1300–1302. <https://doi.org/10.1126/science.277.5330.1300>
- Tonina, L., Giomi, F., Sancassani, M., Ajelli, M., Mori, N., & Giongo, L. (2020). Texture features explain the susceptibility of grapevine cultivars to *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) infestation in ripening and drying grapes. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66567-9>
- Triviño-Tarradas, P., Carranza-Cañadas, P., Mesas-Carrascosa, F.-J., & Gonzalez-Sanchez, E. J. (2020). Evaluation of Agricultural Sustainability on a Mixed Vineyard and Olive-Grove Farm in Southern Spain through the INSPIA Model. *Sustainability*, 12(3), 1–22.
- Triviño-Tarradas, P., Gomez-Ariza, M., Basch, G., & Gonzalez-Sanchez, E. (2019). Sustainability Assessment of Annual and Permanent Crops: The Inspia Model. *Sustainability*, 11(3), 738. <https://doi.org/10.3390/su11030738>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, 151(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.01.068>

- Van Cauwenbergh, N., Biala, K., Bielders, C., Brouckaert, V., Franchois, L., Garcia Ciudad, V., Hermy, M., Mathijs, E., Muys, B., Reijnders, J., Sauvenier, X., Valckx, J., Vanclooster, M., Van der Veken, B., Wauters, E., & Peeters, A. (2007). SAFE—A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 120(2-4), 229–242. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.006>
- van den Hoogen, J., Geisen, S., Wall, D. H., Wardle, D. A., Traunspurger, W., de Goede, R. G. M., Adams, B. J., Ahmad, W., Ferris, H., Bardgett, R. D., Bonkowski, M., Campos-Herrera, R., Cares, J. E., Caruso, T., de Brito Caixeta, L., Chen, X., Costa, S. R., Creamer, R., da Cunha e Castro, J. M., & Dam, M. (2020). A global database of soil nematode abundance and functional group composition. *Scientific Data*, 7(1), 103. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0437-3>
- Varotsos Konstantinos, V., Christos, G., & Graça, A. (2021). *MED-GOLD Indicators for the Wine pilot over Douro Valley based on High Resolution Climate projections [Data set]*. Zenodo.
- Viglierchio, D. R. (1991). *The world of nematodes*. Ag Access.
- Walker, B., & Meyers, J. A. (2004). Thresholds in Ecological and Social–Ecological Systems: a Developing Database. *Ecology and Society*, 9(2).
- Walker, B. H. (1992). Biodiversity and Ecological Redundancy. *Conservation Biology*, 6(1), 18–23. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1992.610018.x>
- Wall, D. H., Nielsen, U. N., & Six, J. (2015). Soil biodiversity and human health. *Nature*, 528(7580), 69–76. <https://doi.org/10.1038/nature15744>
- Wardle, D. A., & Yeates, G. W. (1993). The dual importance of competition and predation as regulatory forces in terrestrial ecosystems: evidence from decomposer food-webs. *Oecologia*, 93(2), 303–306. <https://doi.org/10.1007/bf00317685>
- Weißinger, L., Arand, K., Bieler, E., Kassemeyer, H.-H., Breuer, M., & Müller, C. (2021). Physical and Chemical Traits of Grape Varieties Influence *Drosophila suzukii* Preferences and Performance. *Frontiers in Plant Science*, 12, 664636. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.664636>
- Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F., & Boissau, A. (2015). The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1283–1295. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0333-y>
- Whitehead, A. G., & Hemming, J. R. (1965). A comparison of some quantitative methods of extracting small vermiform nematodes from soil. *Annals of Applied Biology*, 55(1), 25–38. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1965.tb07864.x>
- Winkler, K. J., Viers, J. H., & Nicholas, K. A. (2017). Assessing ecosystem services and multifunctionality for vineyard systems. *Front. Environ. Sci.*, 5(15). <https://doi.org/doi.org/10.3389/fenvs.2017.00015>

- Winter, S., Bauer, T., Strauss, P., Kratschmer, S., Paredes, D., Popescu, D., Landa, B., Guzmán, G., Gómez, J. A., Guernion, M., Zaller, J. G., & Batáry, P. (2018). Effects of vegetation management intensity on biodiversity and ecosystem services in vineyards: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 55(5), 2484–2495. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13124>
- Yeates, G. W. (2003). Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils*, 37(4), 199–210. <https://doi.org/10.1007/s00374-003-0586-5>
- Yeates, G. W., & Bongers, T. (1999). Nematode diversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 113–135. [https://doi.org/10.1016/s0167-8809\(99\)00033-x](https://doi.org/10.1016/s0167-8809(99)00033-x)
- Yeates, G. W., Bongers, T., De Goede, R. G. M., Freckman, D. W., & Georgieva, S. S. (1993). Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology*, 25, 315–331.
- Yeates, G. W., Ferris, H., Moens, T., & Van der Putten, W. H. (2009). The role of nematodes in ecosystems. In M. J. Wilson & T. Kakouli-Duarte (Eds.), *Nematodes as environmental indicators*. CABI.

6. Anexos

Tabela A1. Talhões selecionados na Quinta do Seixo com respetiva informação sobre o número de castas, a sua identidade e o porta-enxerto utilizado. Na identidade de castas: TIB (Tinta Barroca), ARA (Tinto Roriz), TON (Touriga Nacional), TOF (Touriga Franca), TIF (Tinta Francisca), TIA (Tinta Amarela), TIF (Tinta Francisca), TIA (Tinta Amarela), TIC (Tinto Cão), DOZ (Donzelinho Tinto), ALB (Alicante Bouchet), TOE (Touriga Fêmea).

Talhão	Nº de Castas	Identidade da Casta	Porta-enxerto
8	1	TON	Vários
32	1	TOF	1103P
39	1	ARA	1103P
40	1	TIB	1103P
41	1	ARA	R110
43	1	TIB	R110
81	1	TON	1103P
85	1	TON	R110
98	1	TIF	1103P
102	1	TIF	1103P/R110
103	1	TIF	R110
123	1	TOF	1103P
142	1	ARA	Vários
146	1	TIB	Vários
152	1	TOF	Vários
59	2	TOF/ARA	1103P
68	2	TIB/TON	SO4
87	2	TIF/TON	R110
105	2	TIB/TOF	1103P
107	2	TIB/TOF	1103P/R110
117	2	TIB/ARA	1103P
130	2	TOF/ARA	R110
83	3	TOF/TON/ARA	1103P
109	3	TIB/TOF/ARA	Vários
114	3	TIB/TON/ARA	1103P
36	9	TOE/ALB/TIB/ARA/TIA/TIC/DOT/TOF/TIF	Vários
67	4	TIA/TON/TIC/RUF	SO4
134	18	Mistura Tinto	Vários
38	13	Mistura Tinto	Vários
50	5	TIA/RUF/TOF/TIB/ARA	Vários
23	4	TIB/TOF/TIF/TON	Vários

Tabela A2. Produção do ano 2014 até 2020 em kg/planta para cada talhão selecionado com respectiva média e desvio padrão.

Talhão	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Média	Desvio-Padrão
8	1,01	0,73	1,04	0,24	0,54	0,97	1,10	0,81	0,29
32	0,86	0,56	0,74	0,78	0,76	0,74	0,33	0,68	0,16
39	1,55	1,11	0,88	0,75	0,48	1,94	1,32	1,15	0,46
40	1,14	1,67	0,77	0,77	0,50	2,01	1,40	1,18	0,50
41	0,54	0,93	0,79	0,38	0,44	0,54	1,63	0,75	0,40
43	1,75	1,66	1,27	0,43	0,50	1,52	1,35	1,21	0,50
81	0,84	0,76	0,68	0,64	0,03	0,82	0,62	0,63	0,26
85	1,06	2,10	1,43	0,50	1,11	1,43	2,91	1,51	0,73
98	1,13	1,40	0,55	1,44	1,33	1,20	0,82	1,13	0,31
102	0,98	0,73	1,55	1,24	2,44	1,13	1,84	1,42	0,54
103	0,88	2,11	0,69	1,24	0,78	1,08	1,27	1,15	0,44
123	0,85	0,93	0,76	0,81	0,41	1,08	0,15	0,71	0,30
142	0,78	0,67	1,12	0,42	0,13	1,06	0,17	0,62	0,37
146	1,01	0,34	0,83	0,68	0,35	0,95	0,69	0,69	0,25
152	0,83	2,38	0,55	0,45	0,19	0,65	1,46	0,93	0,69
59	1,31	1,38	0,73	1,73	0,78	1,33	0,71	1,14	0,37
68	1,96	0,83	0,44	1,08	1,95	1,96	1,79	1,43	0,59
87	0,61	0,84	0,56	0,61	0,54	1,75	0,76	0,81	0,40
105	0,97	1,25	0,89	0,74	0,34	0,64	0,33	0,74	0,31
107	1,15	1,48	1,01	0,38	0,39	0,91	0,84	0,88	0,37
117	0,63	1,30	0,76	0,92	0,36	1,50	0,54	0,86	0,38
130	1,44	1,14	1,17	0,69	0,52	0,63	0,60	0,88	0,33
83	0,86	0,93	0,65	0,62	0,02	0,85	0,49	0,63	0,29
109	1,71	1,43	0,45	0,60	1,02	0,83	1,36	1,06	0,43
114	1,00	1,51	0,78	0,73	0,41	1,73	1,25	1,06	0,43
36	1,18	1,58	2,38	2,30	1,62	2,11	1,15	1,76	0,47
67	1,24	1,91	0,78	2,26	0,64	1,45	1,43	1,39	0,53
134	0,71	0,61	0,49	0,32	0,21	0,36	0,07	0,40	0,21
38	1,70	1,22	0,82	0,32	0,46	0,92	1,17	0,95	0,44
50	0,15	0,31	0,23	0,24	0,21	0,43	0,12	0,24	0,10
23	0,69	0,87	0,28	0,35	0,26	0,51	0,09	0,44	0,25

Tabela A3. Valores referentes à humidade relativa, matéria orgânica e pH nos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Talhões com valores mais elevados destacados.

Talhão	Humidade relativa (%)	Matéria Orgânica (%)	pH
8	10,70	4,83	6,70
32	8,40	4,33	6,67
39	7,52	3,01	7,60
40	9,09	3,93	7,23
41	6,23	1,85	7,64
43	7,56	3,39	6,60
81	10,29	4,32	6,47
85	7,03	3,56	6,76
98	10,44	7,73	7,01
102	9,32	3,36	7,12
103	8,92	3,29	7,08
123	10,85	4,82	5,95
142	10,10	5,10	5,13
146	12,24	4,46	4,96
152	13,75	5,21	5,07
59	6,95	2,97	6,28
68	8,21	3,65	6,64
87	5,37	2,35	6,53
105	9,33	2,85	6,82
107	11,71	5,42	6,21
117	9,47	4,17	7,20
130	9,90	6,57	5,54
83	9,14	6,37	6,51
109	13,50	5,58	6,15
114	10,33	3,93	5,83
36	5,97	3,45	7,03
67	8,69	2,59	6,13
134	15,10	7,79	4,95
38	7,92	3,29	7,36
50	3,82	4,40	6,55
23	8,21	4,55	6,47

Tabela A4. Valores de atividade microbiológica correspondente a cada amostra de solo retirada dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Classificação baseada em Nicholls *et.al*/ (2004). Valores mais elevados destacados.

Talhão	Atv.microbiológica
40	8
43	5
146	7
39	9
41	10
142	4
32	5
123	9
152	7
81	7
85	5
8	10
103	5
98	9
102	8
117	7
87	3
68	10
105	10
107	9
130	9
59	4
109	10
114	4
83	10
36	6
67	3
23	10
134	7
50	9
38	8

Tabela A5.1. Abundância média de nemátodos nas famílias de fungívoros encontradas nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	Aphelenchidae	Aphelenchodidae	Diphterophoridae	Tylencholaiminae
8	348	104	0	11
32	209	74	0	0
39	469	66	0	0
40	392	119	0	6
41	191	36	3	2
43	281	56	0	0
81	146	305	5	26
85	362	266	0	7
98	257	91	0	0
102	189	131	0	2
103	184	54	0	8
123	608	301	0	0
142	260	167	0	0
146	188	193	0	3
152	332	84	0	7
59	205	56	0	0
68	385	57	3	14
87	179	135	0	0
105	267	197	0	0
107	235	76	0	3
117	335	56	0	0
130	230	273	0	3
83	205	835	0	0
109	266	58	3	10
114	106	65	0	0
36	146	210	3	0
67	250	61	0	0
134	219	322	0	0
38	244	69	0	0
50	321	266	0	0
23	459	133	0	0

Tabela A5.2. Abundância média de nemátodes nas famílias de bacterívoros encontradas nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	Alaimidae	Cephalobidae	Panogrolaimidae	Plectidae	Prismatolaimidae	Rhabditidae	Teratocephalidae	<i>Wilsonema</i>
8	0	485	28	0	160	106	37	12
32	0	85	0	0	19	35	5	4
39	0	270	0	0	20	36	12	0
40	0	223	0	0	51	36	2	0
41	4	126	6	2	70	18	9	0
43	0	154	6	0	119	42	4	3
81	0	204	31	0	67	102	17	0
85	0	792	4	0	10	10	5	0
98	0	274	20	0	31	13	28	24
102	0	276	0	0	53	21	3	2
103	0	193	2	0	42	46	15	0
123	0	512	36	0	15	91	69	0
142	0	317	12	0	72	171	3	0
146	0	408	0	0	40	34	17	2
152	0	305	23	0	85	206	45	0
59	0	154	6	0	8	25	2	0
68	0	414	9	0	6	178	5	0
87	0	244	8	0	39	18	2	0
105	0	306	6	0	20	19	15	0
107	0	330	19	0	45	155	47	0
117	0	234	9	0	117	47	8	0
130	0	342	5	0	139	66	44	0
83	0	246	87	0	122	49	16	0
109	4	365	3	0	91	121	16	6

Tabela A5.2 (continuação). Abundância média de nemátodes nas famílias de bacterívoros encontradas nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	Alaimidae	Cephalobidae	Panogrolaimidae	Plectidae	Prismatolaimidae	Rhabditidae	Teratocephalidae	<i>Wilsonema</i>
114	2	312	5	0	61	0	30	0
36	0	187	11	0	6	32	10	0
67	0	99	52	0	7	52	3	0
134	4	374	12	0	248	15	23	0
38	0	235	14	0	26	12	6	0
50	0	443	13	0	27	15	21	0
23	0	430	35	0	87	37	18	0

Tabela A5.3. Abundância média de nemátodes nos gêneros de herbivoros encontrados nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	<i>Criconema</i>	<i>Gracilacus</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Rotylenchus</i>	<i>Trichodorus</i>	<i>Xiphinema</i>
8	5	0	4	4	0	0	0
32	55	0	3	0	0	0	0
39	1	27	85	0	0	0	0
40	1	75	40	0	0	0	0
41	0	0	26	0	0	0	3
43	24	0	306	0	0	0	0
81	0	60	79	0	0	0	0
85	1	24	0	122	0	0	0
98	7	0	2	0	0	0	0
102	3	0	0	4	0	0	0
103	1	0	2	2	0	0	0
123	0	4	25	598	0	0	15
142	0	3	0	0	0	0	10
146	2	0	27	103	0	0	0
152	7	6	13	42	0	3	3
59	4	12	0	0	0	0	0
68	11	0	0	0	145	0	0
87	1	0	0	0	0	0	0
105	0	0	206	0	0	0	3
107	34	6	16	111	0	0	16
117	13	0	7	0	0	0	0
130	5	13	0	3	0	0	0
83	0	9	8	25	0	0	0
109	0	11	106	0	0	0	0

Tabela A5.3 (continuação). Abundância média de nemátodes nos gêneros de herbívoros encontrados nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	<i>Criconema</i>	<i>Gracilacus</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Pratylenchus</i>	<i>Rotylenchus</i>	<i>Trichodorus</i>	<i>Xiphinema</i>
114	2	0	0	0	0	0	0
36	0	0	23	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0
134	13	108	31	0	0	0	1
38	18	9	9	2	0	0	0
50	0	0	7	0	0	0	0
23	7	0	0	9	0	0	0

Tabela A5.4. Abundância média de nemátodes nas famílias de omnívoros encontradas nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	Aporcelaimidae	Leptonchidae	Thornematidae
8	1	9	0
32	0	3	0
39	0	0	0
40	0	0	0
41	0	0	0
43	0	0	8
81	6	10	11
85	0	9	0
98	9	7	0
102	0	1	0
103	0	0	0
123	0	0	0
142	6	0	0
146	0	0	0
152	0	0	3
59	0	0	0
68	0	0	0
87	0	0	0
105	0	0	0
107	3	6	6
117	0	0	0
130	0	0	0
83	24	22	40
109	5	0	0
114	2	5	0
36	0	2	0
67	0	0	0
134	12	13	0
38	0	0	0
50	0	0	0
23	1	0	0

Tabela A5.5. Abundância média de nemátodes nas famílias de predadores encontradas nas amostras colhidas dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Os valores foram obtidos através da média de 3 extrações com 100 ml de solo cada.

Talhão	Mononchidae	Tripylidae
8	6	6
32	1	0
39	3	0
40	0	0
41	10	1
43	0	0
81	21	18
85	0	0
98	0	0
102	0	0
103	1	6
123	0	9
142	3	0
146	1	6
152	3	0
59	0	0
68	0	0
87	0	0
105	0	0
107	1	12
117	4	0
130	0	10
83	14	0
109	6	147
114	4	0
36	0	0
67	0	0
134	10	3
38	0	0
50	0	0
23	3	28

Tabela A6. Valores do logaritmo das pegadas de herbivoria, enriquecimento e estrutura correspondente a cada amostra de solo retirada dos talhões selecionados da Quinta do Seixo. Valores mais elevados destacados.

Talhão	Log(HF)	Log(EF)	Log(SF)
8	0,45	2,35	1,70
32	1,14	1,94	0,82
39	0,86	2,08	0,94
40	0,89	2,07	1,05
41	0,77	1,77	1,43
43	1,34	2,03	1,38
81	0,93	2,32	1,95
85	1,26	1,94	0,90
98	0,42	1,84	1,64
102	0,32	1,84	1,01
103	0,19	2,00	1,24
123	1,98	2,41	1,21
142	1,06	2,49	1,56
146	1,20	1,97	1,19
152	1,11	2,57	1,40
59	0,42	1,86	0,37
68	1,69	2,52	0,91
87	0,11	1,82	0,86
105	1,16	1,92	0,72
107	1,61	2,44	1,59
117	0,63	2,09	1,39
130	0,53	2,19	1,55
83	0,71	2,30	2,17
109	0,85	2,35	2,23
114	0,15	1,34	1,44
36	0,33	1,96	0,58
67	0,00	2,13	0,38
134	1,10	1,93	2,03
38	0,80	1,79	0,74
50	0,13	1,97	0,90
23	0,56	2,14	1,65

Tabela A7. Talhões selecionados e infraestruturas presentes nas suas redondezas classificadas de 0 a 5 quanto à sua complexidade. Valores mais elevados destacados.

Talhão	Infraestruturas ecológicas	Grau de complexidade
8	Muros	1
32	Olival, Linha de água, canal	5
39	Sebe, olival	4
40	Sebe, olival	4
41	Sebe	2
43	Sebe	2
81	Enrelvamento, muro	5
85	-	0
98	Olival	3
102	-	0
103	Mato	4
123	-	0
142	-	0
146	Linha de água, mato	4
152	Muro, mato	5
59	Olival	3
68	Olival	3
87	-	0
105	-	0
107	-	0
117	-	0
130	Olival, Linha de água, mato	5
83	Enrelvamento, muro	5
109	-	0
114	-	0
36	Muros	1
67	Galeria Ripícola	5
134	Mato	4
38	Sebe	2
50	Muros	1
23	Muros	1

Tabela A8. Flora (espécies e famílias) presente na generalidade dos enrelvamentos (%) e respetivos talhões onde se encontram.

Identificação	8	32	39	40	41	43	81	85	98	102	103	123	142	146	152	59	68	87	105	107	117	130	83	109	114	36	67	134	38	50	23	
<i>Anagallis arvenses</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	
<i>Andryala integrifolia</i>	0	5	13	0	10	28	0	20	20	0	3	40	0	35	0	2	0	0	0	0	0	0	8	0	0	5	10	0	7	10	0	0
<i>Asparagus acutifolius</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Astraceae	18	0	0	6	0	0	0	0	0	37	12	0	0	0	20	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	3	0	0	0
<i>Chenopodium album</i>	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Chondrilla juncea</i>	20	0	1	0	0	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	13	10	0	0	20	0	0	0	0	0
<i>Coleostephus myconis</i>	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	20	0	0	0	0	9	10	0	0	30	0	0	0	0	0	
<i>Convolvulus arvensis</i>	0	0	0	0	0	0	8	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	5	0	10	0	0	0	0	0	
<i>Cynodon dactylon</i>	0	0	0	20	0	0	17	0	0	10	0	10	0	20	47	0	8	0	85	92	0	0	20	50	0	50	0	0	0	0	0	
<i>Daucus carota</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Dittrichia viscosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Galium parisiense</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	7	23	0	0	0	0	0	0	22	0	10	0	10	0	0	0	0	0	
<i>Geranium molle</i>	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	
<i>Hordeum murinum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Jasione montana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0		0	0	0	0	0	0	

Tabela A8 (continuação). Flora (espécies e famílias) presente na generalidade dos enrelvamentos (%) e respetivos talhões onde se encontram.

Identificação	8	32	39	40	41	43	81	85	98	102	103	123	142	146	152	59	68	87	105	107	117	130	83	109	114	36	67	134	38	50	23
<i>Lolium</i>																															
<i>perenne</i>	0	0	0	0	0	0	0	5	5	0	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	5	8	0	0	0	0	30
<i>Lolium sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	10	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Poaceae	10	0	0	0	0	0	18	0	0	10	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0
<i>Rubus spp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0
<i>Rumex</i>																															
<i>acetosella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
<i>Silene gallica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Solanum</i>																															
<i>nigrum</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	20	0	0	5	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Taraxacum</i>																															
<i>officinale</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	20	20	0	0	0	10	0	0	13	0	28	0	0	0	0	0	0	45
<i>Trifolium</i>																															
<i>angustifolium</i>	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Urtica sp</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vicia</i>																															
<i>angustifolia</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Vicia sativa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabela A9. Talhões selecionados e riqueza da generalidade do enrelvamento e índices de diversidade baseados (D- índice de Margalef; H'-índice de Shannon-Wiener; E- Equitabilidade de Pielou) nas percentagens de espécies presentes nos quadrados de amostragem.

Talhão	Riqueza	D	H'	E
8	20	1,133	0,587	0,007
32	6	0,000	0,000	0,000
39	8	0,384	12,060	0,893
40	8	0,540	1,134	0,028
41	10	0,398	4,825	0,391
43	11	0,285	5,309	0,159
81	26	0,970	0,694	0,011
85	13	0,311	3,709	0,148
98	8	0,311	3,709	0,148
102	12	0,672	0,925	0,011
103	11	1,221	0,817	0,031
123	12	1,265	0,649	0,006
142	3	0,000	0,000	0,000
146	11	1,195	0,571	0,004
152	13	1,036	0,715	0,006
59	12	1,116	0,910	0,152
68	23	1,734	0,522	0,005
87	9	0,000	0,000	0,000
105	15	0,439	7,279	0,076
107	6	0,000	0,000	0,000
117	2	0,000	0,000	0,000
130	15	2,049	0,452	0,003
83	26	1,141	0,615	0,008
109	16	0,663	1,191	0,013
114	6	0,870	0,945	0,030
36	22	1,397	0,618	0,004
67	13	0,000	0,000	0,000
134	5	0,752	2,079	0,038
50	15	0,000	0,000	0,000
23	28	0,645	0,915	0,009
33	12	0,417	9,576	0,871

Tabela A10. Valores referentes ao NDVI médio de cada talhão no ano de 2021.

Talhão	NDVI2021
8	0,681
32	0,669
39	0,765
40	0,783
41	0,699
43	0,740
81	0,566
85	0,765
98	0,686
102	0,745
103	0,730
123	0,768
142	0,678
146	0,774
152	0,681
59	0,672
68	0,785
87	0,709
105	0,774
107	0,791
117	0,743
130	0,732
83	0,634
109	0,747
114	0,719
36	0,767
67	0,739
134	0,637
38	0,769
50	0,529
23	0,578

Anexo A11. Tabela com valores dos índices *below* e *above-ground* e a métrica final de sustentabilidade.

Talhão	<i>Below-ground</i>	<i>Above-ground</i>	Métrica
8	1,21	2,23	0,86
32	0,86	0,53	0,35
39	0,93	0,52	0,36
40	0,99	0,66	0,41
41	0,96	0,44	0,35
43	0,88	0,69	0,39
81	1,13	1,40	0,63
85	0,81	0,17	0,24
98	1,31	0,53	0,46
102	0,96	0,94	0,48
103	0,90	0,54	0,36
123	1,08	1,51	0,65
142	0,97	0,04	0,25
146	1,01	1,53	0,63
152	1,11	1,96	0,77
59	0,65	0,41	0,26
68	0,97	2,61	0,90
87	0,65	0,12	0,19
105	0,93	1,72	0,66
107	1,20	1,65	0,71
117	1,04	0,04	0,27
130	1,18	3,64	1,21
83	1,32	1,12	0,61
109	1,37	1,35	0,68
114	0,93	0,25	0,29
36	0,76	1,10	0,47
67	0,64	0,54	0,30
134	1,36	0,84	0,55
38	0,89	0,35	0,31
50	0,88	0,27	0,29
23	1,13	1,30	0,61