



Análise da distribuição espacial de índices de vegetação em olival de montanha

Casos de estudo

Catarina Cláudia Nunes Lourenço

Orientadores

Paulo Alexandre Justo Fernandez

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica, realizada sob a orientação científica do Professor Adjunto Doutor Paulo Alexandre Justo Fernandez, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Julho, 2022

Composição do júri

Presidente do júri:

Mestre João Pedro Várzea Rodrigues

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Castelo Branco

Vogais

Orientador:

Doutor Paulo Alexandre Justo Fernandez

Professor Adjunto da Escola Superior Agrária de Castelo Branco.

Arguente:

Doutor António Maria dos Santos Ramos

Professor Coordenador da Escola Superior Agrária de Castelo Branco.

Dedicatória

Dizia Shakespeare, em “Hamlet”: *“There are more things in heaven and earth, Horatio, than are dreamt of in your philosophy”*, que traduzo de forma (muito) livre como:

“Há mais coisas entre o Céu e a Terra do que sonha o nosso amor pela sabedoria.”

... E a Detecção Remota ajuda a descobrir mais algumas!...

*A todos os que abraçam desafios
para trazer mais conhecimento ao mundo,
com votos para que nunca desistam!!...*

Agradecimentos

O processo que levou à finalização desta tese não foi fácil. Este tema, ao não pertencer à minha “área de conforto”, trouxe-me um desafio intenso e maior. Desafio que foi, especial e principalmente, mitigado pela fantástica equipa de trabalho que se criou aquando da Ação 2 “ Promoção da Utilização de Equipamentos Tecnológicos de Suporte à Monitorização e Gestão Integrada do Olival (TIG)” do projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha” (PVAM): o Paulo Fernandez e a Natália Roque. Findo o projeto PVAM, em 2019, a quantidade de dados obtidos, e ainda não estudados nem completamente processados, permitiu que pudesse pensar neste tema para a tese de mestrado, e assim começou este trabalho, com o Paulo como orientador de excelência, e a Natália como “*a minha técnica especialista particular, a ajudar-me com o ArcGis e, acima de tudo, psicóloga de serviço, que nunca me deixou desanimar, nem sequer quando o computador não se mexia e as coisas não me corriam bem*”. No ano passado, a equipa formada no projeto PVAM, juntou-se novamente, para participarmos no 9º Encontro IOBC-WPRS: Proteção Integrada do Olival, que ocorreu em Lisboa, e no IX Simpósio Nacional de Olivicultura, que ocorreu em Oeiras. E esses dois trabalhos deram-me um novo alento e maior preparação para esta tese. A ambos, Doutor Paulo Alexandre Justo Fernandez e Mestre Natália Martins Roque, agradeço profundamente toda a ajuda, apoio, orientação, força, e tudo o que aprendi convosco: bem hajam!...

Além das questões intelectuais e técnicas afetas a uma tese, acredito ser necessário uma boa estrutura emocional, e termos uma rede de apoio com a família e os amigos, que nos incentivam, ajudam, facilitam a vida de uma ou outra forma.

Começo por agradecer à minha Mãe, pilar essencial na minha vida, que sempre me apoiou e com quem sempre pude contar, e que me facilitou imenso a vida nestes últimos meses, ao assumir a maioria das minhas tarefas “de casa” (grata, grata, grata!...), para eu ter tempo disponível para a tese, especialmente quando recomecei a trabalhar “com horário fixo”. E agradeço ao meu Pai, empresário de sucesso e trabalhador exemplar durante uma vida inteira, que me ensinou imenso sobre profissionalismo e ética laboral, e cujo “regresso” à família me deu a oportunidade de vivenciar a sua “velhice”, melhorando e reforçando os laços de amor.

Agradeço às “minhas pessoas” que, de uma forma ou de outra, com maior ou menor intensidade, me ajudaram desde o início, compreenderam a minha “indisponibilidade” para com elas, foram pacientes, e não me permitiram desanimar nem desistir: Vanda, Zélia, Carla, Ricardo, Eduardo, Raquel, Susana Maria, Ana Fénix, Anabela, Verinha, Marti, Zeza, Dora, Elisabeth, Paulinha, Paula Alex: grata, “mê” povo!...

Agradeço às “minhas pessoas” da “minha” Escola, por todo o apoio e força: Prof.^a Fátima, Fátima Graça, Elisa, Cecília, Conceição Vitorino, Prof. João Pedro, Prof. Ramos, Prof. João Paulo Carneiro, Prof.^a Fernanda, Prof.^a Teresa, Celina e Joana (as quatro “meninas aromáticas”): bem hajam por tudo!

Agradeço aos meus sobrinhos que, só por existirem, dão alento à minha vida e me fazem sorrir: Fi, Mimi, Jai, Joaninha, Nini, Luisinho, Madazinha, Filipinho, Aliçocas Pipocas: Amo-vos!...

Agradeço, também, ao Professor José Maria Carrapatoso Paiva Ribeiro, pela sua gentil disponibilidade em todas as etapas, e à empresa Menção Honrosa, pela disponibilidade e informações prestadas.

Agradeço à equipa da AAPIM – Associação de Agricultores para a Produção Integrada de Frutos de Montanha, não só pelo apoio (pessoal e profissional) durante o projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha”, mas também pela disponibilidade na cedência das informações necessárias à boa execução deste trabalho.

Finalmente, a todos os que, não mencionados, de alguma forma permitiram a finalização desta etapa académica, da conclusão deste desafio: bem hajam!...

Grata por tudo, a todos!...

**Dados obtidos no âmbito do projeto “Promoção e Valorização dos Azeites de Montanha”
(CENTRO-01-0246-FEDER-000004 / 6756).**

Resumo

Este trabalho disponibiliza, numa forma que se pretende simples, mais informação sobre a aplicação e os benefícios das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) na monitorização e gestão do olival de montanha.

No âmbito do projeto Promoção e Valorização de Azeites de Montanha (CENTRO-01-0246-FEDER-000004 / 6756), foram utilizados Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e câmaras multiespectrais, que sobrevoaram e adquiriram dados geoespaciais de olivais de montanha, localizados no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo.

O geoprocessamento dos dados obtidos permitiu o cálculo de diferentes índices de vegetação que, posteriormente, foram relacionados com os dados provenientes dos registos nos cadernos de campo do produtor, com a fisiografia dos olivais e com as propriedades físico-químicas do solo. Os melhores resultados foram apresentados pelo NDVI, o SR e o MSR, seguidamente pelo OSAVI. O índice *Greenness* não teve uma boa aplicação nestas parcelas. Não se encontraram correlações significativas entre os IV e os parâmetros fisiográficos, nem com as características das oliveiras (área de copa ou altura da árvore), nem com o estado nutricional dos solos.

A informação da avaliação dos índices de vegetação obtidos em cada fase vegetativa do olival, revelou-se um contributo importante para melhorar a gestão olivícola, assegurando as vantagens da utilização das TIG, mesmo em olivais tradicionais de montanha.

Palavras chave

Olival, Montanha, VANT, Índices Vegetativos.

Abstract

This work provides, in a way that is intended to be simple, more information about the application and benefits of Geographic Information Technologies (GIT) in the monitoring and management of mountain olive groves.

Within the scope of the Promotion and Valorization of Mountain Olive Oils project (CENTRO-01-0246-FEDER-000004 / 6756), Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and multispectral cameras were used, which flew over and acquired geospatial data of mountain olive groves, located in the municipality of Figueira de Castelo Rodrigo.

The geoprocessing of the data obtained allowed the calculation of different vegetation indices that were later related to the data from the records in the producer's field notebooks, with the physiography of the olive groves and with the physicochemical properties of the soil. The best results were presented by NDVI, SR and MSR, followed by OSAVI. The Greenness index did not have a good application in these plots. No significant correlations were found between the VI and the physiographic parameters, neither with the characteristics of the olive trees (crop area or tree height), nor with the nutritional status of the soils.

The information from the evaluation of the vegetation indices obtained in each vegetative stage of the olive grove, proved to be an important contribution to improving olive management, ensuring the advantages of using TIG, even in traditional mountain olive groves.

Keywords

Olive grove, Mountain, UAV, Vegetative Indices.

Índice Geral

Lista de anexos	XVII
Índice de Figuras	XIX
Índice de Quadros	XXII
Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos.....	XXIII
1. Introdução.....	1
Enquadramento	1
2. As Tecnologias de Informação Geográfica na olivicultura	2
2.1. A agricultura de precisão	2
2.2. Veículos Aéreos Não Tripulados	3
2.3. Detecção Remota e Sensores.....	6
2.4. Planeamento de voo.....	12
2.5. Processamento de dados espaciais.....	14
Índices de vegetação	15
2.6. Os olivais de montanha	20
2.6.1. Os olivais de montanha	20
2.6.2. Os olivais de Figueira de Castelo Rodrigo	22
2.6.3. Breves noções de nutrição em olival.....	27
2.7. Utilização de VANT na monitorização e gestão do olival	29
3. Material e métodos	32
3.1. Caracterização da área de estudo.....	32
3.2. Tecnologias de Informação Geográfica	33
Levantamentos aéreos e dados espaciais	33
3.3. Processamento dos dados	34
3.2.1. Processamento dos dados espaciais.....	34
3.2.2. Índices de vegetação utilizados	35
3.2.3. Estatística Zonal	36
3.4. Análises de solo	37
4. Resultados e Discussão	39

4.1. Análise fisiográfica do olival	39
4.1.1. Classificação das árvores por área de copa	40
4.1.2. Altura das árvores.....	41
4.1.3. Altitude das parcelas de olival	41
4.2. Análise dos índices de vegetação	44
4.2.1. NDVI	45
4.2.2. SR.....	47
4.2.3. MSR.....	48
4.2.4. OSAVI	49
4.2.5. <i>Greenness</i>	51
4.3. Comparação dos índices de vegetação	52
4.4. Classificação dos solos	53
5. Conclusões	57
Referências bibliográficas	59
ANEXOS	64
Anexo A - Mínimo, máximo, média e desvio-padrão (σ), de cada IV, por parcela e por voo.	65
Anexo B - Mapas de NDVI.....	66
Anexo C - Mapas de OSAVI	68
Anexo D - Mapas de SR	71
Anexo E - Mapas de MSR.....	74
Anexo F - Mapas de <i>Greenness</i>	77
Anexo G - Matriz de correlação dos IV e fatores fisiográficos, das 3 parcelas em estudo.	80
Anexo H - Resultado das análises de solo.....	81
Anexo I - Matriz de correlação dos IV, fatores fisiográficos, e análises de solo da parcela CAPR 2.2 em estudo.....	82

Lista de anexos

Anexo A - Mínimo, máximo, média e desvio-padrão (σ), de cada IV, por parcela e por voo.

Anexo B - Mapas de NDVI.

Anexo C - Mapas de OSAVI.

Anexo D - Mapas de SR.

Anexo E - Mapas de MSR.

Anexo F - Mapas de *Greenness*.

Anexo G - Matriz de correlação dos IV e fatores fisiográficos, das 3 parcelas em estudo.

Anexo H - Resultado das análises de solo.

Anexo I - Matriz de correlação dos IV, fatores fisiográficos, e análises de solo da parcela CAPR 2.2 em estudo.

Índice de Figuras

Figura 1 - Aplicação das Tecnologias de Informação Geográfica na olivicultura.	3
Figura 2 - Vantagens e desvantagens das tecnologias de deteção remota existentes.	4
Figura 3 - Espectro eletromagnético.	7
Figura 4 - Resultado espectral das imagens aéreas, utilizando os filtros RGB e NIR, em zonas de olival.	9
Figura 5 - Câmara multiespectral Parrot Sequoia. a) Visão geral; b) Pré-instalada para acoplação em drone de asa fixa.	9
Figura 6 - Comportamento espectral da folha.	10
Figura 7 - Representação da execução do voo planeado de um VANT de asa fixa ou multi-rotor.	12
Figura 8 - Planeamento de voo numa parcela de olival, utilizando o <i>software eMotion®</i> desenvolvida pela <i>senseFly</i>	13
Figura 9 - Interface de simulação de missão de voo numa parcela de olival, utilizando o <i>software eMotion®</i> desenvolvida pela <i>senseFly</i>	13
Figura 10 - Sequência de descolagem de um drone multi-rotor.	14
Figura 11 - Relatório de qualidade Pix4D. a) Rota de voo; b) Representação, através dos pontos verdes, do número de fotografias capturadas; c) Mosaico gerado em RGB; d) Mosaicos gerados em Red, Green, Blue e NIR, com respetivo MDS.	15
Figura 12 - Apresentação do NDVI. a) Cálculo de NDVI de uma parcela de olival; b) Localização da subparcela em avaliação; c) Detalhe da subparcela em avaliação: apresentação do NDVI por árvore, em 2 épocas distintas.	16
Figura 13 - Etapas da utilização dos VANT na gestão agrícola.	19
Figura 14 - Estados fenológicos do olival.	20
Figura 15 - Período ativo e período de cessação do crescimento da parte vegetativa da oliveira.	21
Figura 16 - Olivais na freguesia de Escalhão (Figueira de Castelo Rodrigo). a) Março de 2018; b) Abril de 2018; c) Junho de 2018; d) Novembro de 2018.	22
Figura 17 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) na primavera de 2018.	23
Figura 18 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no verão de 2018.	24
Figura 19 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no outono de 2018.	25

Figura 20 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no inverno de 2018/19.....	26
Figura 21 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) em março de 2019.....	27
Figura 22 - Disponibilidade dos nutrientes no solo, em função do valor de pH.....	29
Figura 23 - Localização e fisiografia da parcela em estudo. a) Localização do olival (zona A) na área de estudo do projeto PVAM; b) Enquadramento fotográfico da paisagem; c) Modelo Digital do Terreno.	32
Figura 24 - Ferramenta Raster Calculator. 1) Inserem-se as “layers” (camadas) a analisar; 2) Insere-se a fórmula do IV desejado; 3) Inserem-se o caminho e nome do ficheiro.	35
Figura 25 - Aplicação da ferramenta “ <i>Zonal Statistics as Table</i> ”.....	36
Figura 26 - Tabela (parcial) resultante da aplicação da ferramenta “ <i>Zonal Statistics as Table</i> ”. 1) Número de árvore; 2) Dados obtidos (soma, média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo) do NDVI.	37
Figura 27 - Identificação e rede de amostragem das colheitas de solo. a) Marcação das oliveiras; b) Oliveira marcada; c) Localização dos pontos de amostragem (Roque <i>et al.</i> , 2021).....	38
Figura 28 - Localização das parcelas e das respetivas árvores: a) Mapa de isolinhas; b) Mapa de sombras.....	39
Figura 29 - Cálculo da altura das árvores. a) Zona de amostragem para avaliação da altura das árvores, na parcela CAPR 2.1. b) Perfil de altura de uma árvore. c) Perfil de altura de uma linha do olival.	41
Figura 30 - Altitude das parcelas sobrevoadas. a) Representação em isolinhas; b) Representação em modelo digital de terreno (MDT) com sobreposição das isolinhas.....	42
Figura 31 - Caracterização fisiográfica. a) Mapa dos declives; b) Mapa de orientação da encosta.	43
Figura 32 - Matriz de correlação da área de copa com a altura das árvores e os parâmetros fisiográficos Declive, Exposição e Altitude.....	43
Figura 33 - Representação das médias dos IV estudados, ao longo dos 5 voos, nas parcelas MH 1.1, MH1.2 e CAPR 2.1: a) NDVI; b) SR; c) MSR; d) OSAVI; e) Greenness.	45
Figura 34 - Mapas de NDVI, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).....	47
Figura 35 - Mapas de SR, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).....	48
Figura 36 - Mapas de MSR, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).....	49

Figura 37 - Mapas de OSAVI, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).....	50
Figura 38 - Mapas de <i>Greenness</i> , por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).....	51
Figura 39 - Matriz de correlação dos resultados das médias do IV, ao longo dos 5 voos, juntamente com parâmetros fisiográficos das oliveiras e dos olivais, no total das parcelas.....	52
Figura 40 - Classificação do solo: a) pH (H ₂ O); b) Teor em matéria orgânica (%); c) Teor em fósforo (P ₂ O ₅) (mg.kg ⁻¹); d) Teor em potássio (K ₂ O) (mg.kg ⁻¹), e) Cálcio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹); f) Magnésio de troca (cmol ⁽⁺⁾ .kg ⁻¹), g) Boro extraível (mg.kg ⁻¹).	54
Figura 41 - Matriz de correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e os índices vegetativos, na parcela CAPR 2.1. a) Correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e o NDVI; b) Correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e os índices OSAVI, SR, MSR e <i>Greenness</i>	55

Índice de Quadros

Quadro 1 - Características técnicas dos VANT multi-rotor e dos VANT de asa fixa.	6
Quadro 2 - Área agrícola de aplicação, área de cobertura e sensores recomendados.....	11
Quadro 3 - Tabela com exemplos de diferentes índices vegetativos passíveis de serem obtidos através do processamento de dados resultantes da utilização da refletância das bandas Red (RR), Green (RG), Blue (RB), Red Edge (RREG), NIR (RNIR), entre outros.	18
Quadro 4 - Importância e proveniência dos nutrientes no desenvolvimento das oliveiras.....	28
Quadro 5 - Número dos voos, respetivas datas e correspondentes fases fenológicas do olival. ..	33
Quadro 6 - Sensores e bandas usadas nos voos.	34
Quadro 7 - Metodologias usadas na análise das amostras de solo, em relação à textura, ao pH, ao teor em matéria orgânica e aos teores em fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro.	38
Quadro 8 - Caracterização das parcelas de olival por produtor, no que respeita à área, ao número de oliveiras, densidade, compasso, idade estimada e altitude.	39
Quadro 9 - Número de oliveiras e área média de copa, por parcela, por classes de áreas médias de copa, e no total.	40
Quadro 10 - Mínimo e máximo de altitude das oliveiras, por parcela e por classes de áreas médias de copa.	42
Quadro 11 - Resultado qualitativo da análise de solo de cada amostra, em relação à textura, ao pH, e à classe de fertilidade do solo, no que respeita aos teores em matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro.	53

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

- CWSI** – *Crop Water Stress Index* (Índice de Stress Hídrico)
- FIR** – *Far InfraRed* (Infravermelho Distante)
- GNSS** – *Global Navigation Satellite System* (Sistemas de Navegação Global por Satélite)
- IPMA** – Instituto Português do Mar e Atmosfera
- INE** – Instituto Nacional de Estatística
- INU** – *Inertial Navigation Unit* (Unidade de Navegação Inercial)
- IV** – Índice(s) Vegetativo(s)
- MDS** – Modelo Digital de Superfície
- MDT** – Modelo Digital de Terreno
- MP** – Megapixel(s)
- MSR** – *Modified Simple Ratio* (Rácio Simples Modificado)
- NDVI** – *Normalized Difference Vegetation Index* (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)
- NIR** – *Near InfraRed* (Infravermelho Próximo)
- OSAVI** – *Optimized Soil-adjusted Vegetation Index* (Índice de vegetação otimizado pelo solo)
- PVAM** – Promoção e Valorização de Azeites de Montanha (projeto)
- RGB** – *Red Green Blue* (Vermelho, Verde, Azul)
- SIG** – Sistemas de Informação Geográfica
- SR** – *Simple Ratio* (Rácio Simples)
- TIG** – Tecnologias de Informação Geográfica
- VANT** – Veículo(s) Aéreo(s) Não Tripulado(s)

1. Introdução

Enquadramento

Este trabalho disponibiliza mais informação sobre a aplicação e os benefícios das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG) na monitorização e gestão do olival de montanha, apresentando alguns resultados da Ação 2: “Promoção da Utilização de Equipamentos Tecnológicos de Suporte à Monitorização e Gestão Integrada no Olival (TIG)” do projeto “Promoção e Valorização dos Azeites de Montanha” (CENTRO-01-0246-FEDER-000004 / 6756). Nesta ação, foram sobrevoados e recolhida informação geoespacial de diferentes olivais de montanha, nas zonas de Figueira de Castelo Rodrigo, Belmonte, Meda (2 áreas) e Pinhel, desde abril de 2018 até março de 2019, contemplando cinco épocas distintas do ciclo vegetativo do olival. A recolha e o tratamento destes dados permitirão definir o perfil geográfico-olivícola destas zonas.

O perfil geográfico-olivícola do olival de montanha resulta da análise das características do território e dos olivais em estudo, e da avaliação e integração de parâmetros e práticas culturais, tipos de solos, morfologia do terreno (altitude, declive e exposição), meteorologia, entre outros. Neste trabalho, utilizaram-se tecnologias de Detecção Remota, usando-se câmaras e sensores multiespectrais montados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para a recolha remota de dados da superfície do terreno e dos elementos da sua superfície e, também, métodos de geoestatística e de classificação de imagens, em três olivais do concelho de Figueira de Castelo Rodrigo.

Pretende-se definir os perfis geográfico-olivícolas dos olivais de montanha em estudo, e serão analisados vários índices de vegetação que, por sua vez, serão relacionados com os aspetos edafoclimáticos, fisiográficos e culturais destes olivais.

Ao permitir definir o perfil geográfico-olivícola do olival de montanha, avaliar as suas características observáveis e fazer a deteção atempada e expedita dos fenómenos que afetam a sua produção, é possível perceber quais as zonas com maior potencial produtivo, bem como as eventuais oportunidades para uma maior rentabilidade, e para uma olivicultura mais eficiente.

Este trabalho é constituído por 5 capítulos.

O capítulo 1 apresenta o enquadramento deste trabalho, descreve o tema em estudo e os seus objetivos. No capítulo 2, apresenta-se uma revisão sobre a agricultura de precisão, e as tecnologias de informação geográficas afetas à mesma, bem como as características da região estudada e dos seus olivais de montanha. No capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados, e caracteriza-se as áreas de estudo, com base nos cadernos de campo dos olivicultores. No capítulo 4, apresentam-se e analisam-se os resultados obtidos. No capítulo 5, apresentam-se as conclusões obtidas, as principais limitações e as áreas que devem ser exploradas em trabalhos futuros.

2. As Tecnologias de Informação Geográfica na olivicultura

2.1. A agricultura de precisão

O uso de tecnologia que permite monitorizar as condições de uma parcela agrícola está associada ao que se entende por agricultura de precisão.

Segundo Coelho *et al.* (2009), a evolução da agricultura através da mecanização permitiu o aumento da escala da agricultura tradicional, a qual, por si mesma, era uma agricultura precisa e pormenorizada, onde era possível realizar operações culturais diferenciadas entre plantas e intraparcela. Ao desenvolver a agricultura para produção em larga escala, extensificando-a, e com a mecanização, aumentou-se a rapidez da execução das tarefas agrícolas, mas perdeu-se a capacidade de se realizar uma gestão intraparcelar diferenciada.

Com a constante evolução das tecnologias, bem como o acrescento das novas tecnologias, e a constatação de como as diferentes características de uma parcela influenciam a resposta à aplicação de um determinado fator de produção, abriram-se as portas a uma nova forma de gestão agrícola, a qual se designa por “agricultura de precisão”.

Assim, e segundo os mesmos autores, considera-se o seguinte conceito:

“A agricultura de precisão envolve a aplicação diferenciada, e à medida, dos fatores de produção, tendo em conta a variação espacial e temporal do potencial produtivo do meio e das necessidades específicas das culturas, de forma a aumentar a sua eficiência de utilização e, assim, melhorar o rendimento económico e reduzir o impacte ambiental da atividade agrícola.”

Neste conceito, reflete-se os principais objetivos da agricultura de precisão: o aumento do rendimento económico dos produtores, seja pela redução de custos de produção, seja pelo aumento da produtividade e/ou qualidade das culturas, e a redução do impacte ambiental derivado da atividade agrícola, este intimamente relacionado com o rigor no controlo da aplicação dos fatores de produção, principalmente aqueles associados a externalidades ambientais negativas.

A complexidade e o (ainda elevado) preço das tecnologias associadas à agricultura de precisão, mais os outros custos associados (tempo, aquisição de equipamentos, construção de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), formação de técnicos e agricultores), e os benefícios económicos só são superiores ao investimento em explorações de grande dimensão (principalmente económica). Conquanto estes serem fatores altamente dissuasores do uso destas tecnologias, a própria evolução tecnológica apresenta, no momento, equipamentos de alta tecnologia a preços relativamente mais baixos do que há alguns anos. Além disso, a formação de técnicos e agricultores tem aumentado, e o nascimento e desenvolvimento de empresas especializadas no aluguer de máquinas e equipamentos agrícolas tem vindo, também, a aumentar. Estas, ao permitirem que se ultrapasse a forte limitação que a reduzida

dimensão das explorações e os elevados custos de amortização decorrentes causam, acabam por favorecer a utilização destas tecnologias.

Associadas à agricultura de precisão estão, neste momento, as TIG (Figura 1) e outros sistemas de suporte (Coelho *et al.*, 2009). Juntos, fornecem um conjunto de ferramentas que permitem não só a aquisição, mas também o processamento e a análise de dados geoespaciais, e que muitas vezes se complementam, incluindo o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), Deteção Remota, Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e as análises de solo, por exemplo (Fernandez *et al.*, 2019a).



Figura 1 - Aplicação das Tecnologias de Informação Geográfica na olivicultura. Fonte: Fernandez *et al.* (2019a).

2.2. Veículos Aéreos Não Tripulados

A obtenção de imagens pode ser feita através de VANT, avião e satélite. Num estudo de viticultura de precisão, ocorrido em Itália, a obtenção das imagens por estas três vias foi comparada tecnicamente por Matese *et al.* (2015). Nesse estudo, concluiu-se que, na área da agricultura, os VANT demonstram alta flexibilidade operacional, alta resolução espacial de imagens (muito importante para a representação da variabilidade intraparcelar), independência da cobertura de nuvens, e baixo custo operacional (este especialmente vantajoso em áreas entre 5 a 50ha), sendo a melhor escolha em parcelas com baixos índices de vegetação (IV) e elevada irregularidade da mesma. Os resultados obtidos pelos VANT, quanto ao processamento da imagem, foram considerados ótimos na resolução e precisão, mas quanto aos resultados de outras características, como o alcance de cobertura, a resistência de voo, o mosaico e a

georreferenciação, foram considerados fracos, comparativamente aos aviões e aos satélites.

Também Pádua *et al.* (2017), com base em estudos diversos, comparou as vantagens e desvantagens dos diferentes meios de aquisição de imagens, num estudo que teve como objetivo apresentar um levantamento dos métodos atuais e mais avançados, relacionados com o uso de VANT, e para aconselhar o público-alvo (agricultores e silvicultores) na escolha do VANT apropriado. Simultaneamente, ainda comparou diferentes sensores e etapas de processamentos de dados. Neste estudo, em que dividiu os VANT segundo o seu tipo (de asa fixa ou multi-rotor) concluiu que estes, em comparação com os aviões, os satélites e técnicas terrestres, tinham as seguintes vantagens: melhor relação custo-benefício para pequenos projetos, muito alta resolução espacial (asa fixa: mais de 2cm/pixel, multi-rotor: sub-milímetro), não são afetados pelas nuvens devido à baixa altitude de voo, e elevada exatidão. Como desvantagens da utilização dos VANT foram destacadas: a pequena cobertura, a restrição de algumas operações devido à legislação, sensibilidade às condições meteorológicas adversas, e difícil dificuldade de reconstruir áreas homogéneas, se não existir uma faixa de sobreposição das fotografias superior a 60%. Na Figura 2 é apresentada uma síntese das vantagens e desvantagens inerentes às várias plataformas de aquisição automática de dados geoespaciais da cobertura do solo.






Altitude	Vantagens	Desvantagens
 Satélite	<ul style="list-style-type: none"> Elevada cobertura Ampla capacidade espectral 	<ul style="list-style-type: none"> Baixa resolução Tempo de aquisição da imagem Cobertura fraca em algumas regiões Sensível à presença de nuvens
 Avião tripulado	<ul style="list-style-type: none"> Grande cobertura num único voo Alta resolução Ampla capacidade espectral 	<ul style="list-style-type: none"> Tempo de aquisição da imagem Dependente das condições climatéricas Sensível à presença de nuvens Não disponível em regiões remotas
 VANT asa fixa  VANT multi-rotor	<ul style="list-style-type: none"> Resolução muito alta (asa fixa: até 2cm/pixel; multi-rotor: sub-milímetro) Não afetado pelas nuvens devido à baixa altitude do voo Precisão posicional 	<ul style="list-style-type: none"> Pequena cobertura Sensível ao mau tempo Dificuldade na reconstrução de áreas homogéneas (poucos pontos de ligação) A legislação pode restringir as operações
 Técnicas terrestres	<ul style="list-style-type: none"> Excelente precisão posicional Poucos dados (apenas os necessários) Resolução muito alta Classificação dos dados no próprio local 	<ul style="list-style-type: none"> Trabalho intensivo Uma linha de visão Acessibilidade (alguns sítios)

Figura 2 - Vantagens e desvantagens das tecnologias de deteção remota existentes. Fonte: adaptado de Pádua *et al.* (2017).

Um dos setores económicos mais importantes para o crescimento da utilização dos VANT é a agricultura (Maes & Steppe, 2019), verificando-se, nos últimos anos, um aumento significativo da utilização de VANT na agricultura de precisão (Maes & Steppe, 2019; Pádua *et al.*, 2017). A deteção do stress hídrico causado pela seca baseia-se em imagens térmicas, sendo possível de realizar em estágios iniciais, e calcular as consequências a longo prazo, através da utilização dos VANT. Em relação à deteção de patógenos, a fusão de dados hiperespectrais e térmicos mostra grande potencial, embora ainda esteja numa fase prematura (Maes & Steppe, 2019), contudo já foram obtidos resultados interessantes na deteção precoce de infeção causada pelo fungo *Verticillium dahliae* (verticiliose do olival), permitindo acompanhar a progressão da doença, calcular os seus níveis de severidade e avaliar os danos causados (Calderón *et al.*, 2015). Por outro lado, a deteção de flora adventícia através da classificação de imagens baseada em objetos está numa fase avançada, que pode ser usada para a gestão desta flora numa maneira mais localizada e específica. Ainda é referido que a avaliação do estado nutricional da cultura e a previsão do seu rendimento são promissoras, mas a sua aplicabilidade pode melhorar com a integração de modelos (Maes & Steppe, 2019).

Resumindo, os VANT facilitam a avaliação de parâmetros como o vigor, a qualidade e a estimativa de rendimento das culturas, ao permitir a sua medição ao longo de toda a campanha. A possibilidade de ter culturas mais saudáveis e gerir eficientemente os diversos recursos (água, produtos fitofarmacêuticos, adubos) pela utilização de mapas que exponham problemas derivados da rega, da qualidade do solo, da presença de doenças ou de pragas, facilita a prática de uma agricultura mais sustentável, salvaguardando os interesses dos agricultores (Pádua *et al.*, 2017).

Em Portugal, é através do Regulamento n.º 1093/2016, de 14 de dezembro, da Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC), o qual se aplica “à operação de sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente, definindo as respetivas condições de operação e autorização quanto à sua utilização no espaço aéreo nacional”, que se regula a utilização de VANT a nível civil, sejam pilotados a partir de uma estação de piloto remoto, ou com capacidade de operar autonomamente.

Os diferentes tipos de VANT são designados em função do seu tamanho, do tipo de asa e do número de rotores que possuem (Pádua *et al.*, 2017; Mogili & Deepak, 2018). Os VANT utilizados a nível civil (e, por conseguinte, utilizados na agricultura) são considerados “pequenos”, “mini”, ou “micro”, apresentando plataformas fáceis de usar, peso abaixo dos 20 kg, tempo de voo entre alguns minutos a algumas horas de autonomia, e um alcance limitado. Dentro destes, encontramos dois tipos: de “asa fixa”, e “multi-rotor” (Pádua *et al.*, 2017), contudo todos têm rotores para assegurar a sua sustentação e propulsão. Nos modelos multi-rotor, a sua designação é estabelecida em função do número de rotores, pelo que existem disponíveis os quadricópteros, hexacópteros e octocópteros, conforme têm quatro, seis ou oito rotores, respetivamente (Mogili & Deepak, 2018). Cada tipo de VANT tem as suas vantagens (Figura 2), em relação aos ambientes e às tarefas que terão de executar. No entanto, a

escolha pela utilização de um tipo, ou de ambos, deverá atender aos seguintes pontos: tamanho da área a mapear e a sua complexidade, resolução desejada, condições climáticas existentes, e espaço disponível para a zona de descolagem e aterragem (Pádua *et al.*, 2017).

Para grandes áreas (superiores a 50 ha) é preferível um VANT de asa fixa, devido à velocidade ser maior, permitindo uma cobertura mais rápida. No entanto, estes VANT necessitam de uma área de aterragem linear de cerca de 20m x 100m, o que pode condicionar a sua utilização em zonas onde não exista essa área mínima (Pádua *et al.*, 2017), eventualmente obrigando a procurar zonas de aterragem mais distantes da área a sobrevoar, o que, por sua vez, pode condicionar o tempo de voo, em função do tempo de duração da bateria.

Para pequenas áreas (abaixo de 50ha), ou zonas sem a área de aterragem linear mínima necessária, os multi-rotor são os ideais. Quanto aos sensores, a sua escolha dependerá dos objetivos e da área de aplicação (Pádua *et al.*, 2017), conforme descrito no subcapítulo seguinte.

É importante assinalar as diferenças nas velocidades, no tempo de voo, na distância linear e na superfície coberta, entre os VANT de asa fixa e de multi-rotor, conforme estudado por Marinello *et al.* (2016). No Quadro 1, é apresentada uma comparação das velocidades máximas e médias, tempo de voo, distância percorrida num único voo e superfície coberta por voo dos VANT multi-rotor e dos VANT de asa fixa.

Quadro 1 - Características técnicas dos VANT multi-rotor e dos VANT de asa fixa.

	Multi-rotor	Asa Fixa
Velocidade máxima (m·s ⁻¹)	3-20	15-50
Velocidade média (m·s ⁻¹)	4	13
Tempo de voo (min)	Até 30	30-60
Distância percorrida num único voo (km)	3-4	25-35
Superfície coberta por voo (ha)	1-8	10-40

Fonte: adaptado de Marinello *et al.*, 2016.

2.3. Detecção Remota e Sensores

A Detecção Remota refere-se, no geral, a técnicas e instrumentos empregues na aquisição e medição de dados/informações espacialmente organizados em algumas propriedades (espectral, espacial e física) e que correspondem a características, objetos e materiais, pela aplicação de um ou mais dispositivos de gravação que não estão em contacto físico e direto com o(s) objeto(s) sob estudo, mas sim a uma distância finita. As técnicas utilizam diversos instrumentos para medir a radiação eletromagnética, campos de força ou energia acústica (Short, 2009).

A Detecção Remota é um conjunto de técnicas que permitem obter informação sobre um objeto ou fenómeno, através da análise de dados recolhidos por um dispositivo que não está em contacto mecânico direto com esse objeto ou fenómeno (Fernandez *et al.*, 2019a).

Cada instrumento de Detecção Remota deteta uma parte da radiação eletromagnética (Pádua *et al.*, 2017), que é a energia transferida à velocidade da luz, entre dois pontos, através de campos elétricos e magnéticos oscilantes (Mirhadi, 2010). A radiação eletromagnética é composta por diferentes comprimentos de onda, sendo o espectro eletromagnético a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética com relação ao seu comprimento de onda ou à sua frequência (Fernandez *et al.*, 2019a). O comprimento de onda e a frequência são as características principais que diferenciam os diferentes tipos de radiação eletromagnética: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X, raios gama, como se pode observar na Figura 3.

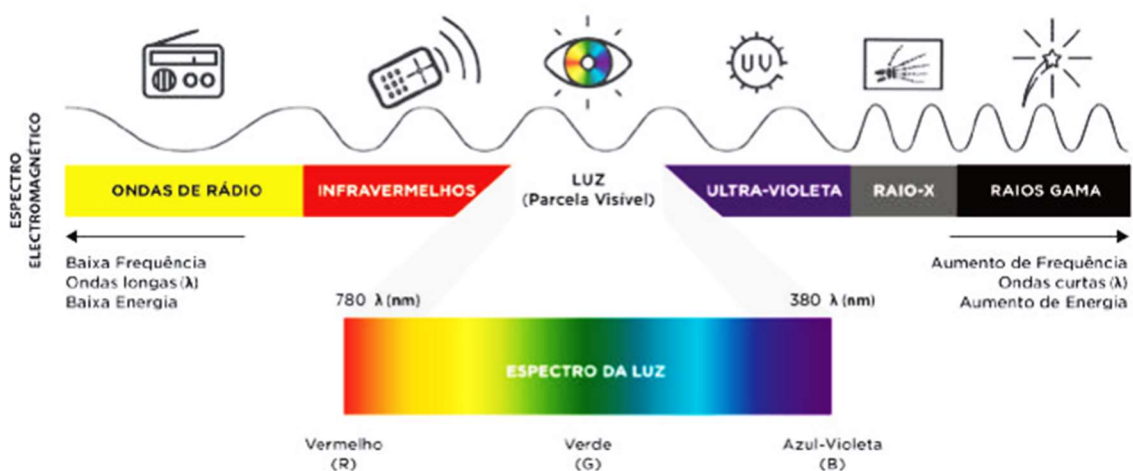


Figura 3 - Espectro eletromagnético. Fonte: Fernandez *et al.*, 2019b.

Apenas uma pequena parcela do espectro eletromagnético é visível a olho nú, pelo que a utilização de determinados sensores e a análise dos seus resultados permitem tornar visível o que é invisível aos olhos humanos (Pádua *et al.*, 2017).

A Detecção Remota utiliza sensores passivos (detetam as emissões naturais da superfície da Terra e da sua atmosfera) e sensores ativos (transmitem a sua própria radiação e detetam a radiação refletida). Os sensores passivos mais comuns incluem as câmaras com as bandas RGB (de *Red* - Vermelha, *Blue* - Azul e *Green* - Verde), NIR (de *Near InfraRed* - Infravermelho Próximo), térmicas, e as combinações em câmaras multi e hiperespetrais. Como exemplo de sensores ativos, temos o LIDAR (*Light Detection And Ranging*), que utiliza a emissão de um pulso laser, e o RADAR (*Radio Detection And Ranging*) que utiliza ondas rádio. Os sensores ativos não têm sido utilizados na agricultura de precisão (Pádua *et al.*, 2017).

Os VANT podem transportar diversos tipos de sensores, em função das câmaras escolhidas e das necessidades de execução de determinadas tarefas.

Os vários tipos de sensores captam a radiação emitida pela cultura em diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético ou, simplesmente, imagens aéreas no espectro do visível (Pádua *et al.*, 2017).

As câmaras comuns (RGB) capturam a luz de três bandas de comprimento de onda do espectro visível, de 400 a 700 nm, capturando imagens perceptíveis ao olho humano e, quando montadas em VANT, fornecem imagens cuja perspectiva é de olho de pássaro. Segundo Fernandez *et al.* (2019a), estas câmaras comerciais são baratas e têm uma elevada resolução espacial, mas, por outro lado, têm uma resolução espectral relativamente baixa.

As imagens obtidas podem ser processadas em mosaicos ou ortomosaicos como referido por Turner, *et al.* (2012), ou para construir Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais do Terreno (MDT), seja através de algoritmos de reconstrução tridimensionais (3D) baseados em visão estéreo, ou algoritmos de estrutura a partir do movimento (SfM) (Nex & Remondino, 2014). Os ortomosaicos podem ser usados, na agricultura, para mapeamento aéreo, monitorização da biomassa, contagem de plantas, vigilância, levantamento topográfico, produção de cartografia de ocupação e uso do solo, entre outros. Por sua vez, os MDS podem ser úteis em levantamentos e mapeamentos tridimensionais ou para cálculos de volume, como o volume de copas de árvores, por exemplo. (Pádua *et al.* 2017).

O tipo de imagens fornecidas pelas câmaras RGB, mesmo quando os filtros são separados para criar falsas cores que vão realçar determinadas propriedades que podem ser muito úteis na análise da cobertura do solo, fornecem informações visuais valiosas para o agricultor. No entanto, ao não serem usados sensores NIR, a falta de informações obtidas na faixa de comprimentos de onda onde ocorre a maior refletância da vegetação, torna-os pouco adequados para avaliar as características da vegetação (Nebiker *et al.*, 2008).

As vantagens das câmaras RGB comerciais é que têm um baixo custo e têm uma alta resolução espacial, e a desvantagem maior é terem uma resolução espectral relativamente baixa (Berra *et al.*, 2017; Nijland *et al.*, 2014; Pádua *et al.*, 2017). Esta desvantagem pode ser ultrapassada quando se modifica um dos filtros das câmaras RGB, substituindo, por exemplo, o filtro Azul (B) pelo filtro do Infravermelho Próximo (NIR), tornando a antiga faixa azul sensível ao espectro de infravermelho próximo. Os filtros NIR e RGB combinados são usados em diversas câmaras multiespectrais, e a recolha destes dados possibilita a criação de diferentes índices de vegetação (Pádua *et al.*, 2017).

Na figura 4, apresentam-se alguns exemplos de imagens obtidas com VANT, em altitudes que variaram entre 184 m e 348 m.

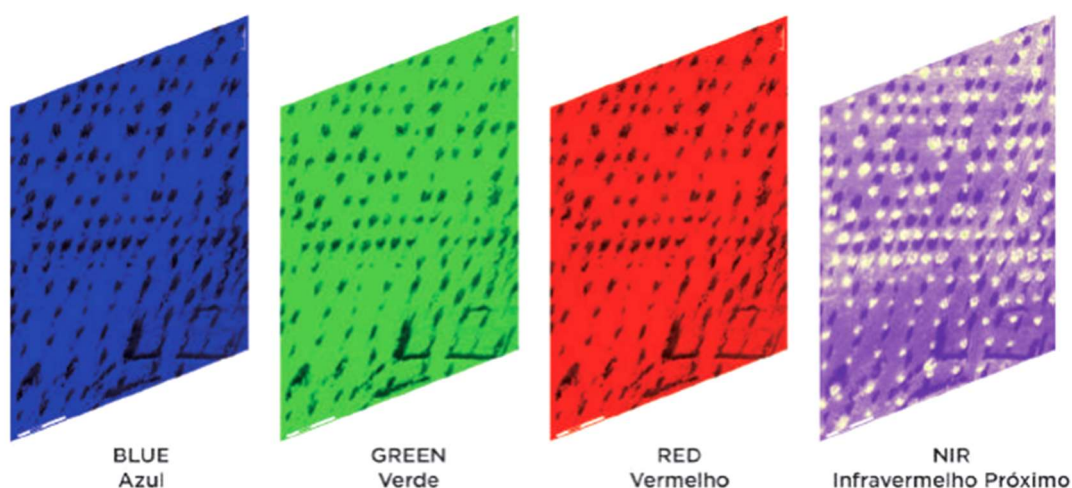


Figura 4 - Resultado espectral das imagens aéreas, utilizando os filtros RGB e NIR, em zonas de olival. Fonte: Fernandez *et al.* (2019b).

Na Figura 5, é apresentada uma câmara multiespectral, que permite a captação de imagem em quatro bandas: Verde/*Green* (550nm \pm 40nm), Vermelho/*Red* (660nm \pm 40nm), Vermelho Próximo/*Red Edge* (735nm \pm 10nm) e Infravermelho Próximo/*Near InfraRed* (790nm \pm 40nm), e possui também uma câmara RGB de 16 Megapixels (MP) e um sensor de luz solar (Parrot, 2022 e senseFly, 2022a).

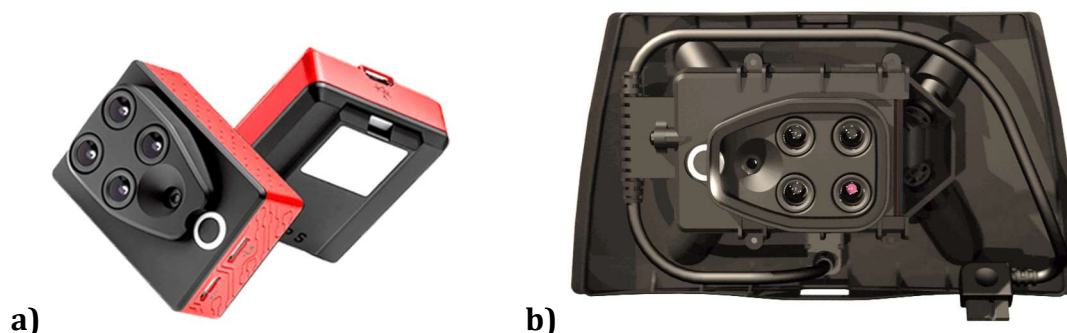


Figura 5 - Câmera multiespectral Parrot Sequoia. a) Visão geral; b) Pré-instalada para acoplação em drone de asa fixa. Fontes: a) Parrot, 2022, b) senseFly, 2022b

Uma vez que o comportamento espectral de um objeto é o resultado direto das suas propriedades físicas e químicas, e da sua estrutura atômica, estas são expressas nas características da sua curva de refletância. Por exemplo, o padrão espectral de uma cultura disponibiliza padrões que permitem identificar o seu estado fisiológico e sanitário. Nos comprimentos de onda na região do visível, a refletância da vegetação está relacionada com os pigmentos fotossintéticos presentes. Nos comprimentos de onda da região do infravermelho próximo, a refletância da vegetação é influenciada

pela estrutura das folhas (tamanho, forma, e distribuição da água) (Fernandez *et al.*, 2019a).

Na Figura 6, é apresentada a refletância da folha da planta, conforme o seu estado. É o contraste da refletância, entre o visível e o infravermelho próximo, que permite concluir que o vigor de uma planta é maior quanto maior for o contraste entre estas duas bandas. (Fernandez *et al.*, 2019a).

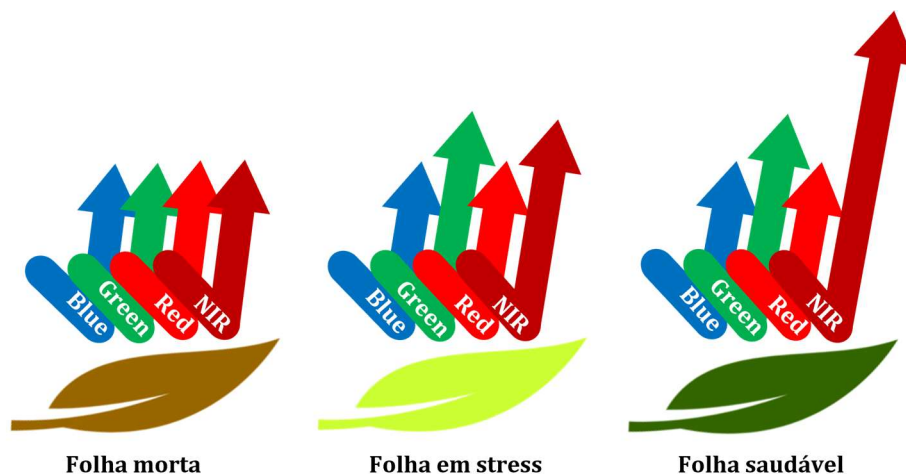


Figura 6 - Comportamento espectral da folha.

Quanto aos sensores de infravermelhos, estes não se limitam apenas aos sensores do Infravermelho Próximo (NIR), mas também incluem os sensores térmicos e os sensores de Infravermelho Distante (far infra-red, FIR). Enquanto a banda NIR tem comprimentos de onda de cerca de 700 nm a 1400 nm, e representa a região onde ocorre alta refletância das plantas, a “banda térmica” situa-se entre 8000 nm e 15000 nm, e a banda FIR tem comprimentos de onda entre 15000 nm a 1000000 nm (D’Amico *et al.*, 2008). As câmaras térmicas são muito mais caras e com uma resolução de imagem muito mais baixa, quando comparadas com as câmaras convencionais. No entanto, na agricultura de precisão, são úteis na criação de mapas térmicos, na deteção precoce de doenças das plantas, na classificação do uso do solo, na avaliação de stress hídrico e na gestão da rega, na avaliação do funcionamento de painéis solares e na deteção vida selvagem ou gado, entre outras utilizações (Pádua *et al.*, 2017).

As imagens obtidas através das câmaras multiespectrais transportadas pelos VANT, e cujos sensores são baseados na refletância, permitem a captura da radiação emitida pela(s) cultura(s), solo ou água em diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Tal permite, por sua vez, obter a medida de refletância do comportamento espectral da(s) cultura(s), do solo ou da água ao longo do espectro da radiação eletromagnética (Fernandez *et al.*, 2019a).

Tal como os sensores NIR, também os sensores multiespectrais são utilizados para análise da vegetação, uma vez que o NIR é uma das bandas que estes sensores detetam, juntamente com as bandas *Red*, *Green*, *Blue*, e também a banda *Red Edge* (Vermelho

Próximo, situada na região eletromagnética entre o espectro de luz visível e o NIR), bandas de luz ultravioleta e bandas térmicas (Pádua *et al.*, 2017).

As câmaras multiespectrais detetam, geralmente, entre 4 e 12 bandas largas (Pádua *et al.*, 2017). As câmaras hiperespectrais conseguem detetar imensas bandas estreitas (200 ou mais), até 2 nm, ou menos. Conforme a resolução espectral obtida, possibilitam o estudo de diferentes propriedades das plantas (Bendig, 2015). Uma vez que os sensores hiperespectrais produzem imagens onde cada pixel contém todo o espectro dos comprimentos de onda detetados, este tipo de sensores fornece muito mais informações (Pádua *et al.*, 2017).

O Quadro 2 apresenta um resumo de algumas características a ter em consideração na escolha do(s) VANT, incluindo o tipo de VANT e os sensores necessários, conforme o objetivo do estudo que se pretende desenvolver na área da agricultura de precisão, e sabendo que, para áreas pequenas (até 50 ha), o VANT recomendado é o multi-rotor, e para áreas grandes (entre 50 ha a 5 km²), o VANT recomendado é o de asa fixa.

Quadro 2 - Área agrícola de aplicação, área de cobertura e sensores recomendados.

Área agrícola de aplicação	Área de cobertura	Sensores recomendados			
		HS	MS	O	T
Deteção e identificação de doenças	Pequena		✓		
	Grande	✓			
Deteção de vida selvagem	Pequena				✓
Estimativa de áreas ardidas	Grande		✓		
Estimativa de azoto	Pequena / Grande		✓		
Estimativa de Biomassa	Pequena / Grande			✓	
Estimativa de Clorofila	Pequena / Grande	✓			
Estimativa de disponibilidade hídrica do solo	Pequena / Grande				✓
Mapeamento de flora adventícia	Pequena / Grande		✓		
Mapeamento da altura da vegetação	Pequena			✓	
Monitorização da cultura	Pequena / Grande		✓		

Legenda: HS - Hiperespectral, MS - Multiespectral, O - Ótico, T - Térmico

Fonte: adaptado de Pádua *et al.* (2017).

2.4. Planeamento de voo

Como referido, os VANT, sejam de rotor ou de asa fixa, são dispositivos construídos com capacidade para voar autonomamente, com controlo remoto (Mogili & Deepak, 2018). Para esse controlo remoto, existe uma estação de controlo no solo (Ground Control Station – GCS), que permite o planeamento da missão a executar, bem como acompanhar todo o processo. (Fernandez *et al.*, 2019a). Como componente principal, o VANT possui um sistema de controlo que permite manter a aeronave estabilizada e executar manobras através da rota e missão selecionadas (Hardin & Jensen, 2011). No acompanhamento da missão, é permitida a visualização do mapa do local que está a ser monitorizado e apresenta-se a localização geográfica do VANT, que possui um GNSS acoplado, e também uma unidade de navegação inercial (INU), que garante uma melhor precisão da sua posição (Fernandez *et al.*, 2019a). A Figura 7 representa a execução do voo planeado de um VANT de asa fixa ou VANT multi-rotor acoplado ao GNSS e à INU.

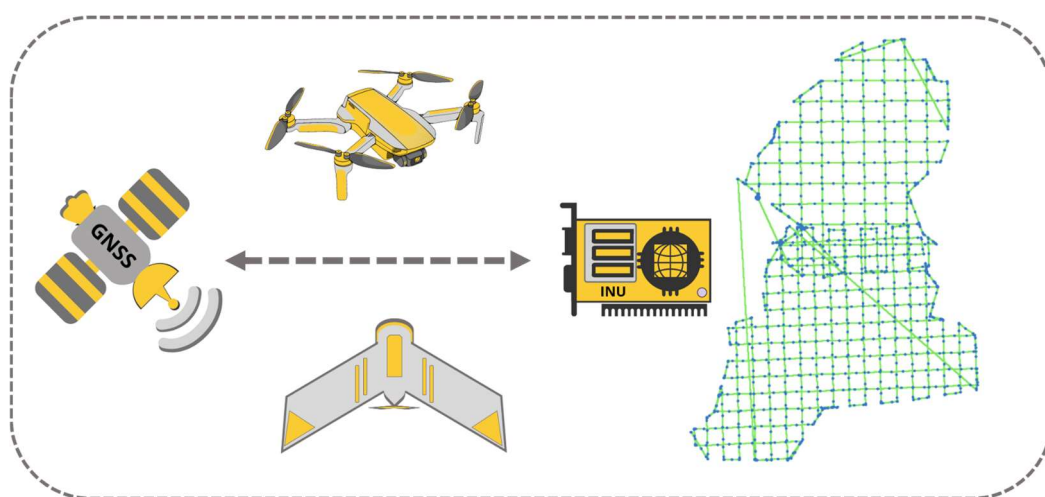


Figura 7 - Representação da execução do voo planeado de um VANT de asa fixa ou multi-rotor. Fonte: adaptado de Fernandez *et al.* (2019a).

Na agricultura de precisão, as etapas de utilização dos VANT são organizadas da seguinte forma: planeamento do voo; obtenção das imagens georreferenciadas; processamento das imagens; criação do mosaico do Modelo Digital de Superfície e da nuvem de pontos 3D; e análise espacial através de ferramentas SIG (Fernandez *et al.*, 2019a).

No planeamento de voo, deve ser considerado as condições do voo: altitude, velocidade de voo, a altura do sol, os pontos de controlo do terreno, as condições atmosféricas, em especial a velocidade do vento, e a autonomia do próprio VANT, como mencionado anteriormente, mas também a sobreposição das imagens, a resolução espacial das imagens, e as normas e regulamentos de voo. A altitude de voo é determinante na quantidade e na qualidade (resolução espacial) de imagens geradas.

Recomenda-se uma sobreposição lateral mínima de 60%. para obter imagens com qualidade satisfatória para a agricultura de precisão, e essa aquisição deve ser garantida pela velocidade de voo usada à altitude desejada. Usualmente, as câmaras utilizam formatos com compressão mínima para evitar perdas de qualidade. As coordenadas latitude, longitude e altitude são associadas às imagens (Fernandez *et al.*, 2019a).

Nas Figuras 8 e 9, são apresentadas as etapas do processo de planeamento do voo numa parcela de olival, através do *software eMotion®* desenvolvida pela *senseFly*, tais como: simulação da missão de voo, com vista de autonomia, dados de voo, instrumentos, informação e definições da câmara, numa parcela de olival (Fernandez *et al.*, 2019a).



Figura 8 - Planeamento de voo numa parcela de olival, utilizando o *software eMotion®* desenvolvida pela *senseFly*. Fonte: Fernandez *et al.* (2019a).

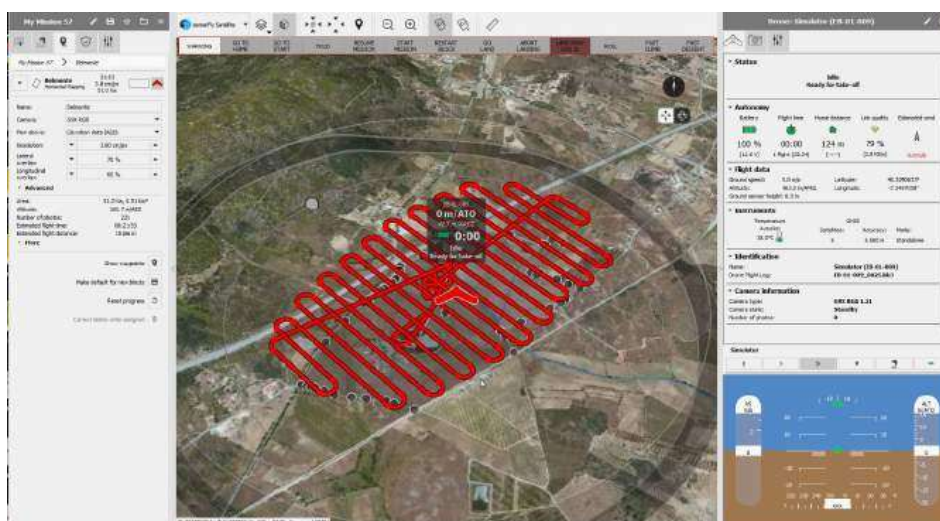


Figura 9 - Interface de simulação de missão de voo numa parcela de olival, utilizando o *software eMotion®* desenvolvida pela *senseFly*. Fonte: Fernandez *et al.* (2019a).

Na Figura 10, é apresentada a sequência das fases de decolagem de um VANT multi-rotor, numa sessão de demonstração para agricultores e técnicos, em olival.



Figura 10 - Sequência de decolagem de um drone multi-rotor. Fotografias: Projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha”, 2018.

2.5. Processamento de dados espaciais

O processamento das imagens capturadas sob parcelas agrícolas permite a obtenção de diferentes produtos, variáveis conforme as câmaras usadas.

Do processamento das imagens obtidas com as câmaras RGB (espectro visível), obtemos o ortomosaico, o MDS e o MDT, entre outros (Pádua *et al.*, 2017) permitindo reconhecer falhas graves na plantação, avaliar os diferentes estados fenológicos, analisar as alterações resultantes de alguma doença ou praga ou carência, etc., funcionando como o “olho do agricultor” sobre a cultura (Fernandez *et al.*, 2019b).

Por sua vez, o processamento das imagens obtidas com as câmaras RGB e com os sensores NIR, permite obtermos mapas de vigor vegetativo, a modelação da estrutura da copa das árvores, que possibilita a classificação de copas das oliveiras por área, a classificação das copas das oliveiras por média de índices vegetativos, entre outros (Santos, 2019; Fernandez *et al.*, 2019a).

Na Figura 11, são apresentados a rota de voo, o número de fotografias necessárias (pontos verdes) e os mosaicos gerados com base nos sensores RGB e NIR.

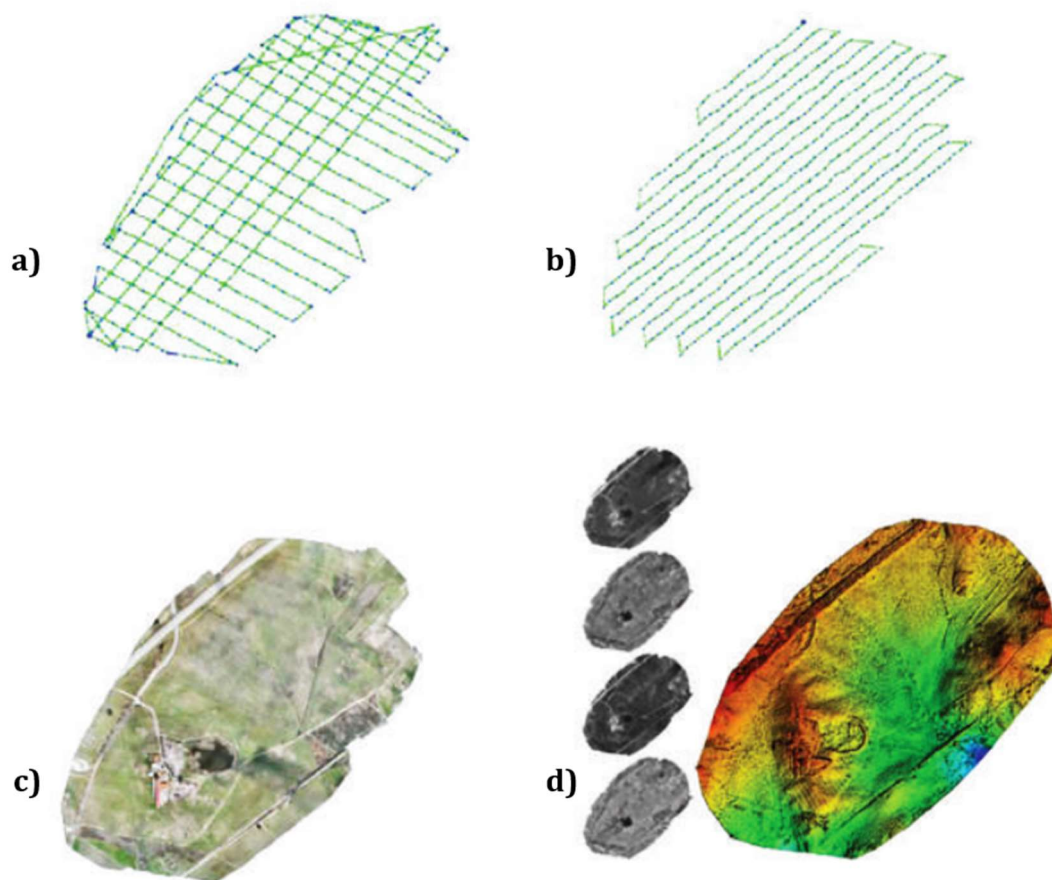


Figura 11 - Relatório de qualidade Pix4D. a) Rota de voo; b) Representação, através dos pontos verdes, do número de fotografias capturadas; c) Mosaico gerado em RGB; d) Mosaicos gerados em Red, Green, Blue e NIR, com respectivo MDS. Fonte: adaptado de Fernandez *et al.* (2019b).

Índices de vegetação

Um índice espectral é o resultado da combinação de operações algébricas dos dados obtidos dos sensores com bandas espectrais pré-definidas. A definição dos índices permite realçar determinadas informações ou características em relação à vegetação, tipo de solo, água, entre outros (Lira *et al.*, 2016).

Por sua vez, os índices de vegetação (IV) são, numa forma simplificada, os que permitem realçar ou distinguir vegetação de diferentes tipos, ou em diferentes fases do seu ciclo fenológico, ou distinguir diferenças sazonais, por exemplo, mas também características intrínsecas à própria vegetação, como a análise de diversas propriedades no Índice de Área Foliar (IAF) e a avaliação de parâmetros biofísicos, fisiológicos ou bioquímicos da cultura (Adão *et al.*, 2017; Lira *et al.*, 2016).

Desta forma, podemos considerar que os IV são obtidos diretamente, ou pela combinação aritmética entre duas, ou mais, bandas, e permitem-nos mostrar alguns componentes importantes para a gestão agrícola (Fernandez *et al.*, 2019a).

Um dos índices de vegetação mais utilizados na agricultura é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), sendo criado pela combinação aritmética da banda Vermelha e da banda NIR (Rouse *et al.*, 1974). A Figura 12 apresenta um mosaico de NDVI (a), em contraste com uma imagem RGB (b) em olival, e os mapas de NDVI de duas épocas distintas (c).

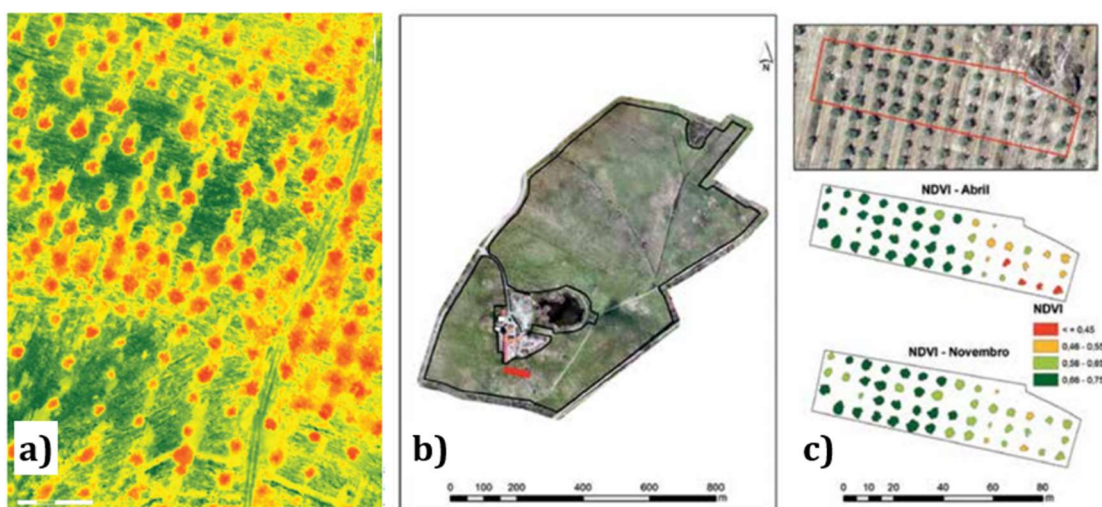


Figura 12 - Apresentação do NDVI. a) Cálculo de NDVI de uma parcela de olival; b) Localização da subparcela em avaliação; c) Detalhe da subparcela em avaliação: apresentação do NDVI por árvore, em 2 épocas distintas. Fonte: adaptado de Fernandez *et al.* (2019b).

No entanto, outros índices são passíveis de serem estudados, mediante a combinação aritmética dos dados obtidos pelos diferentes sensores, os quais originam imagens multi e hiperespectrais, permitindo obter resultados associados a diversas propriedades fisiológicas da cultura, tais como: o stress hídrico, o vigor, o rácio de pigmentos, entre outros (Calderón *et al.*, 2013).

Sucintamente, com as combinações aritméticas das bandas *Green*, *Blue*, *Red*, *Red Edge*, NIR, entre outras, podemos obter diversos índices, de acordo com o apresentado no Quadro 3.

Dos índices de vegetação (IV) apresentados, destacam-se os utilizados neste trabalho, nomeadamente:

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), utilizado para estimar a biomassa (Bendig *et al.* 2015), a estrutura da copa, o índice de área foliar e gestão da cultura (Candiago *et al.* 2015) e o vigor. Dependendo da estação do ano e do tipo de cultura, este índice pode não ser adequado,

devido à mudança de cor das folhas, uma vez que a refletância da banda *Green* não é usada no cálculo (Pádua *et al.*, 2017).

OSAVI (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* – Índice de Vegetação Ajustado ao Solo Otimizado), baseia-se no NDVI, introduzindo um valor padronizado (0,16) que diminui a refletância do solo e minimiza a forma como este afeta a avaliação da vegetação, sendo idealmente usado em áreas onde a vegetação é relativamente esparsa, onde o solo é visto através das copas ou da cultura (Rondeaux *et al.*, 1996).

SR (*Simple Ratio* – Rácio simples) – o rácio entre o NIR e a refletância da banda *Red*, é, tal como o NDVI, amplamente utilizado e bom preditor para calcular a biomassa, tanto verde como seca (Bendig, 2015). Tanto o NDVI quanto o MSR podem ser expressos em função do SR. Num estudo entre vários IV, o SR, o MSR e o NDVI foram os mais correlacionados com o Índice de Área Foliar (IAF) e a Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa (FPAR) absorvida pela copa da floresta, na primavera e no verão. Todos os outros índices utilizados (Índices de Vegetação Ajustados ao Solo (SAVI, SAVI1, SAVI2), Índice de Vegetação por Diferença Ponderada (WDVI), Índice de Monitoramento Ambiental Global (GEMI), Índice Não Linear (NLI) e Índice de Vegetação por Diferença Renormalizada (RDVI) tiveram um mau desempenho (Chen, 1996).

MSR (*Modified Simple Ratio* – Rácio Simples Modificado), é uma variação do SR e que pretende minimizar determinados erros na obtenção de dados, proposto por Chen (1996), adquirindo maior sensibilidade aos parâmetros biofísicos da vegetação.

Greenness (Verdor), é um índice que, no estudo de Calderón *et al.* (2013), não possibilitou a deteção de infeção por *V. dahliae*, uma vez que as plantas doentes não apresentavam alterações significativas em relação às plantas saudáveis. Por outro lado, Sanseechan *et al.* (2019), num estudo sobre a doença fitoplasmática da folha branca de cana-de-açúcar, concluiu que a utilização dos índices baseados em operações da banda RGB também tem um potencial de deteção de sintomas, com aceitável qualidade e menor custo que utilizando as bandas NIR e *Red Edge*.

A possibilidade de conjugar os dados obtidos através do processamento das imagens com outras análises realizadas, como análises de solo, água ou material vegetal, e também a observação visual direta do olival, as características do próprio olival (idade, variedades, condução, tratamentos fitossanitários e outros registos dos cadernos de campo), permite reforçar e melhorar todo o sistema de informação geográfica da parcela em causa (Fernandez *et al.*, 2019a).

Quadro 3 - Tabela com exemplos de diferentes índices vegetativos passíveis de serem obtidos através do processamento de dados resultantes da utilização da refletância das bandas *Red* (R_R), *Green* (R_G), *Blue* (R_B), *Red Edge* (R_{REG}), NIR (R_{NIR}), entre outros.

Índice vegetativo	Nome	Fórmula	Referência e fonte
R	Redness index	$= R_{700}/R_{670}$	Gitelson <i>et al.</i> , 2000 (a)
G	Greenness index	$= R_{570}/R_{670}$	Calderon <i>et al.</i> , 2013
B	Blue index	$= R_{450}/R_{490}$	Calderon <i>et al.</i> , 2013
RGI	Red Green Index	$= R_R/R_G$	Coops <i>et al.</i> , 2006; Gamon & Surfus, 1999 (b)
BGI1 e BGI2	Blue/green indices	$= R_{400}/R_{550}$ e $= R_{450}/R_{550}$	Zarco-Tejada <i>et al.</i> , 2005 (a)
BRI1 e BRI2	Blue/red indices	$= R_{400}/R_{690}$ e $= R_{450}/R_{690}$	Zarco-Tejada <i>et al.</i> , 2012 (a)
ExG	Excess Green Index	$= 2 \times R_G - R_R - R_B$	Woebbecke <i>et al.</i> , 1995 (b)
GLI	Green Leaf Index	$= \frac{2 \times R_G - R_R - R_B}{2 \times R_G + R_R + R_B}$	Hunt Jr. <i>et al.</i> , 2013; Louhaichi <i>et al.</i> , 2001 (b)
VARI	Visible Atmospherically Resistant Index	$= \frac{R_G - R_R}{R_G + R_R - R_B}$	Gitelson <i>et al.</i> , 2002 (b)
SR	Simple Ratio	$= R_{NIR}/R_R$	Jordan, 1969 (a)(b)
MSR	Modified Simple Ratio	$= \frac{R_{800}/R_{670} - 1}{(R_{800}/R_{670})^{0.5} + 1}$	Chen, 1996 (a)
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$= \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$	Rouse <i>et al.</i> , 1974 (a)(b),
RDVI	Renormalized Difference Vegetation Index	$= \frac{R_{800} - R_{670}}{\sqrt{R_{800} + R_{670}}} = \frac{R_{NIR} - R_R}{\sqrt{R_{NIR} + R_R}}$	Rougean & Breon, 1995 (a)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$= (1 + L) \times \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670} + L}$	Huete, 1988 (b)
MSAVI	Modified SAVI	$= 0.5 \times (2 R_{800} + 1 - \sqrt{(2 R_{800} + 1)^2 - 8 (R_{800} - R_{670})})$	Qi <i>et al.</i> , 1994(b)
OSAVI	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index	$= (1 + 0,16) \times \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670} + 0,16}$	Rondeaux <i>et al.</i> , 1996) (a) (b)
GnyLi	Nomeado pelos investigadores Gny e Li	$= \frac{R_{900} \times R_{1050} - R_{955} \times R_{1220}}{R_{900} \times R_{1050} + R_{955} \times R_{1220}}$	Gnyp <i>et al.</i> , 2014a (b)
TVI	Triangular Vegetation Index	$= 0.5 \times [120 \times (R_{750} - R_{550}) - 200 \times (R_{670} - R_{550})]$	Broge & Leblanc, 2000 (a)
MTVI	Modified Triangular Vegetation Index	$= 1.2 \times [1.2 \times (R_{800} - R_{550}) - 2.5 \times (R_{670} - R_{550})]$	Haboudane <i>et al.</i> (2004) (a)
PRI570	Photochemical Reflectance Index (570)	$= (R_{570} - R_{531}) / (R_{570} + R_{531})$	Gamon <i>et al.</i> (1992) (a)
PRI515	Photochemical Reflectance Index (515)	$= (R_{515} - R_{531}) / (R_{515} + R_{531})$	Hernández-Clemente <i>et al.</i> (2011) (a)
ZM	RedEdge	$= R_{750}/R_{710}$	Zarco-Tejada <i>et al.</i> (2001) (a)

Legenda: R_R = refletância da banda *Red* (630-690 nm); R_G = refletância da banda *Green* (520-600 nm), R_B = refletância da banda *Blue* (450-520 nm); R_{REG} : refletância da banda *Red Edge* (735 + 5 nm); R_{NIR} : refletância da banda NIR (700-1300 nm); $R_{\#}$ = refletância na banda referida, por exemplo, R_{1220} = refletância na banda de 1220 nm.

Fonte: adaptado de (a) Caldéron *et al.* (2013), e (b) Bendig (2015).

A Figura 13 representa as etapas da utilização dos VANT na gestão agrícola de olivais e pomares.

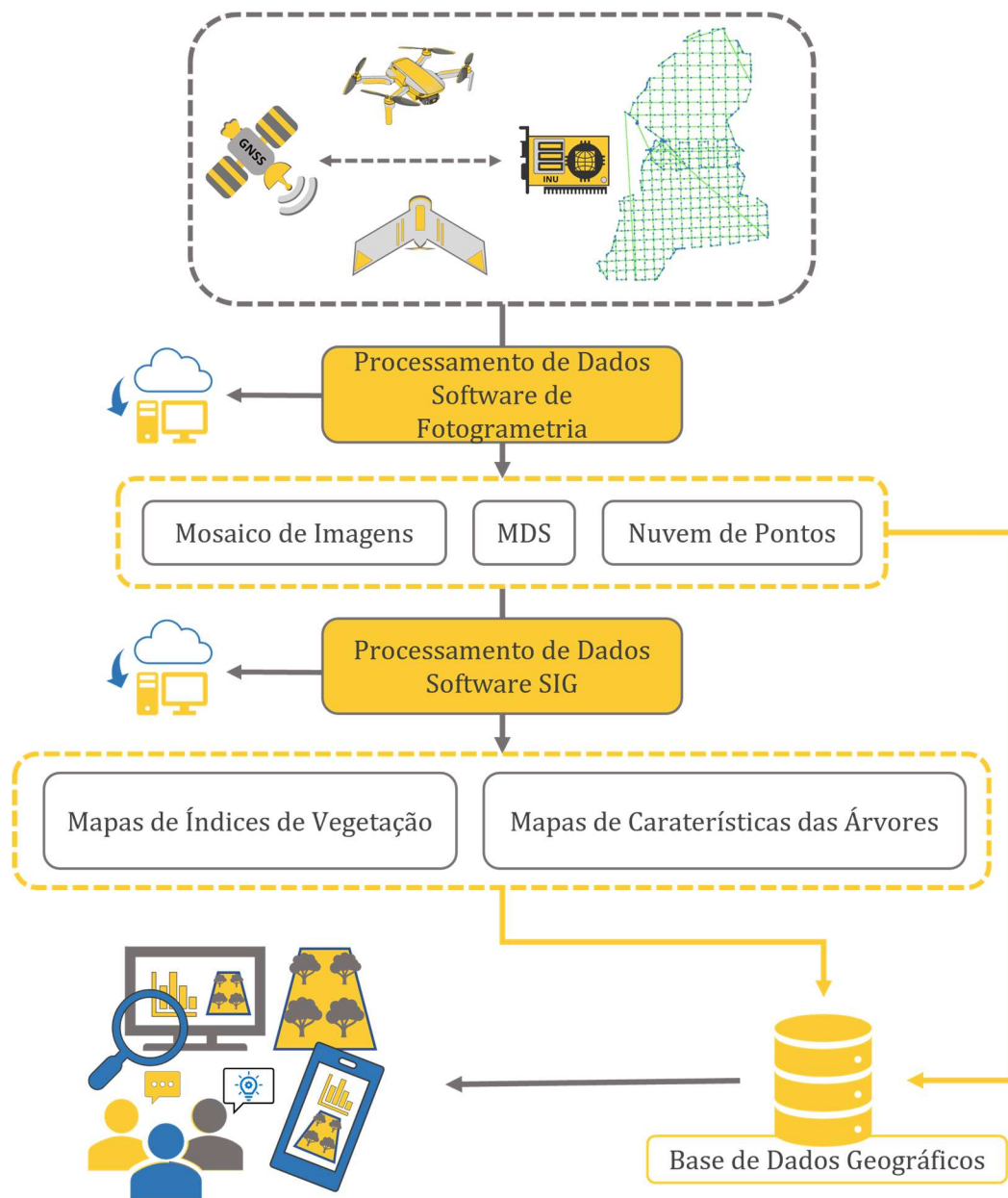


Figura 13 - Etapas da utilização dos VANT na gestão agrícola. Fonte: adaptado de Fernandez *et al.* (2019a).

2.6. Os olivais de montanha

2.6.1. Os olivais de montanha

A região agrária denominada de “Beira Interior” possuía, em 2021, 48753 ha de olival, dos quais 48209 ha vocacionados para a produção de azeite, resultando, no mesmo ano, numa produção de 69414 hl (INE, 2022). Nesta região, insere-se a sub-região “Comunidade Intermunicipal das Beiras e Serra da Estrela” (CIM-BSE), onde decorreu o projeto “Promoção e Valorização dos Azeites de Montanha”, e que é composta por 15 concelhos. Aqui, já implementada, existe a Denominação de Origem Protegida (DOP) “Azeites da Beira Interior”, que integra o “Azeite da Beira Alta” (azeites provenientes dos concelhos de Almeida, Celorico da Beira, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Guarda, Gouveia, Manteigas, Meda, Pinhel, Seia e Trancoso) e o “Azeite da Beira Baixa” (azeites provenientes dos concelhos de Belmonte, Covilhã, Fundão e Sabugal) (Peres *et al.*, 2019).

As cultivares predominantes nesta região, e que dão origem aos “Azeites de Montanha” podem ser listadas por: ‘Carrasquinha’, ‘Cobrançosa’, ‘Cordovil’, ‘Cornicabra’, ‘Galega Vulgar’, ‘Madural’, ‘Negrinha’ e ‘Verdeal’. Ocasionalmente, são também referidas outras cultivares, nomeadamente a ‘Bical’, a ‘Borrenta’, a ‘Carrasca’, a ‘Carraspana’, a ‘Curtideira’, a ‘Redondal’, e a ‘Passareira’, segundo Cordeiro *et al.* (2014a), que ainda realça que há diversas sinonímias regionais: a ‘Galega Vulgar’ é também conhecida por ‘Galega meuda’, ‘Molar’ ou ‘Negrucha’; já a ‘Carrasquinha’ corresponde à ‘Azeiteira’ ou ‘Azeitoneira’ e, por sua vez, mencionar ‘Negrinha’, é uma referência à ‘Negrinha do Freixo’.

As diversas cultivares de oliveira apresentam algumas diferenças nas datas dos seus ciclos vegetativos e reprodutivos, tanto pelas suas características intrínsecas (Pereira, 2017) como pela influência das diferenças edafoclimáticas de cada região onde se inserem. Para além disso, na CIM-BSE, a evolução fenológica das oliveiras (Figura 14) apresenta algum desfaseamento temporal entre concelhos, principalmente entre os que estão a norte da cidade da Guarda, e os que estão a sul, sendo mais precoce nestes últimos (Belmonte, Covilhã e Fundão).

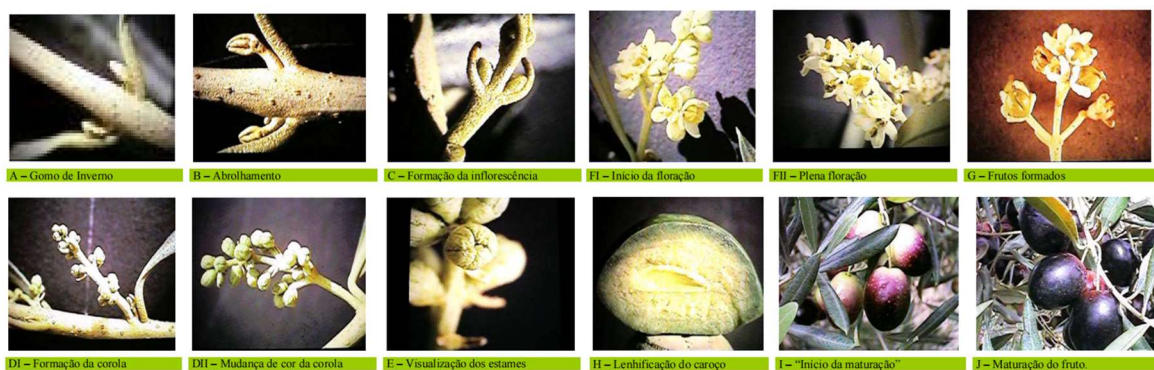
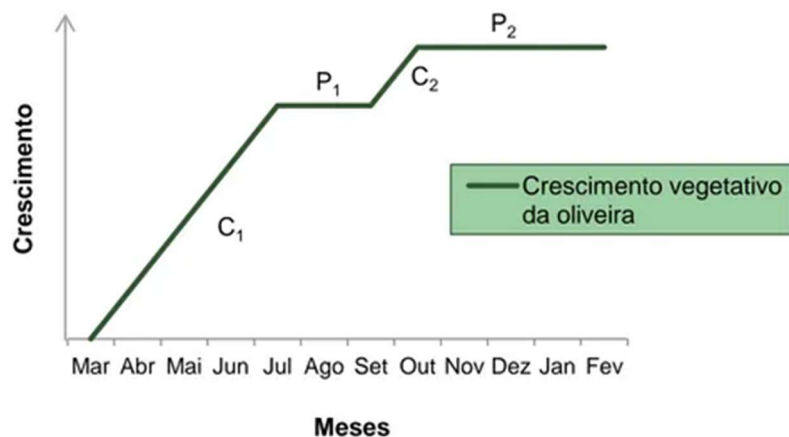


Figura 14 - Estados fenológicos do olival. Fonte: adaptado do original de Gomes & Cavaco (2003), in Cavaco & Marcelo (2010).

É o ciclo vegetativo da oliveira que determina o modo como ocorrem os processos de crescimento visível na parte aérea da planta. Maioritariamente, o crescimento da parte aérea da árvore dá-se a partir dos gomos terminais dos raminhos formados no ano anterior. Eventualmente, alguns gomos laterais próximos do gomo terminal também abrolham e desenvolvem-se, ramificando o crescimento (Pereira, 2017).

Na primavera, os gomos abrolham, dando início a um processo de crescimento e desenvolvimento com maiores ou menores intensidade e duração, o que vai depender das condições climáticas e das disponibilidades hídricas e nutritivas. O crescimento vegetativo da oliveira é descontínuo, condicionado às condições de temperatura extremas e/ou de elevado déficit hídrico (os estomas fecham, impedindo as trocas gasosas e, conseqüentemente, a fotossíntese; logo, o crescimento cessa). Essas paragens de crescimento são notórias no verão, onde as altas temperaturas e a diminuição das reservas de água no solo tornam as condições de crescimento desfavoráveis e a oliveira entra em pausa estival. Eventualmente, com as primeiras chuvas outonais, retoma o crescimento, até que o abaixamento das temperaturas o suspende, entrando em paragem invernal até aos aumentos de temperatura da primavera seguinte. Comparado com o crescimento outonal, o crescimento primaveril é mais longo e intenso, dadas as melhores condições climáticas e hídricas, além de apresentar um crescimento generalizado em toda a árvore, incluindo a quase totalidade dos ápices dos raminhos. No outono, esse crescimento pode não ocorrer em todos os ápices, normalmente cingindo-se, quase em exclusividade, à parte superior da copa, especialmente nos ramos mais verticais e vigorosos. Nos anos de maior carga de frutos (anos de safra), ocorre uma diminuição no crescimento das extremidades dos raminhos, ou até uma total ausência de crescimento, se o gomo terminal se transformar em cacho floral (Pereira, 2017).

Na Figura 15, apresenta-se um gráfico geral do período ativo e do período de cessação do crescimento da parte vegetativa da oliveira, ao longo do ano.



Legenda: C₁ – 1ª Fase de Crescimento ativo. P₁ – Paragem de crescimento. C₂ – 2ª fase de crescimento ativo. P₂ – Paragem de crescimento.

Figura 15 - Período ativo e período de cessação do crescimento da parte vegetativa da oliveira. Fonte: Cordeiro *et al.* (2014b).

2.6.2. Os olivais de Figueira de Castelo Rodrigo

Pormenorizando os olivais do concelho de Figueira de Castelo Rodrigo, onde decorreu este estudo, constatamos que se encontram numa região com as seguintes características edafoclimáticas: solos xistosos (sendo os Regossolos e os Leptossolos as unidades pedológicas dominantes), franco-arenosos, granuloso e pouco ácido. Têm um teor de matéria orgânica variável entre “baixo” a “médio”, teor muito baixo de fósforo extraível e teores “médios” a “altos” de potássio extraível. O relevo varia de “muito ondulado” a “irregular”. A altitude, na região, varia entre 150 m a 550 m. O clima, classificado como semiárido e continental quente, tem precipitação média anual de 500-600 mm, temperaturas médias anuais de 14 °C – 16 °C, humidade relativa média de 70-75% e 2.700-2.800 horas de insolação anual (Geometral Agroconsultores, 2004).

Na Figura 16, apresentam-se quatro fotografias dos olivais de Escalhão (concelho de Figueira de Castelo Rodrigo), e respetiva cobertura do solo, em 2018, nos meses de março (antes do 1º voo), abril (aquando do 1º voo), junho (aquando do 2º voo), e novembro de 2018 (cerca de um mês após o 4º voo).

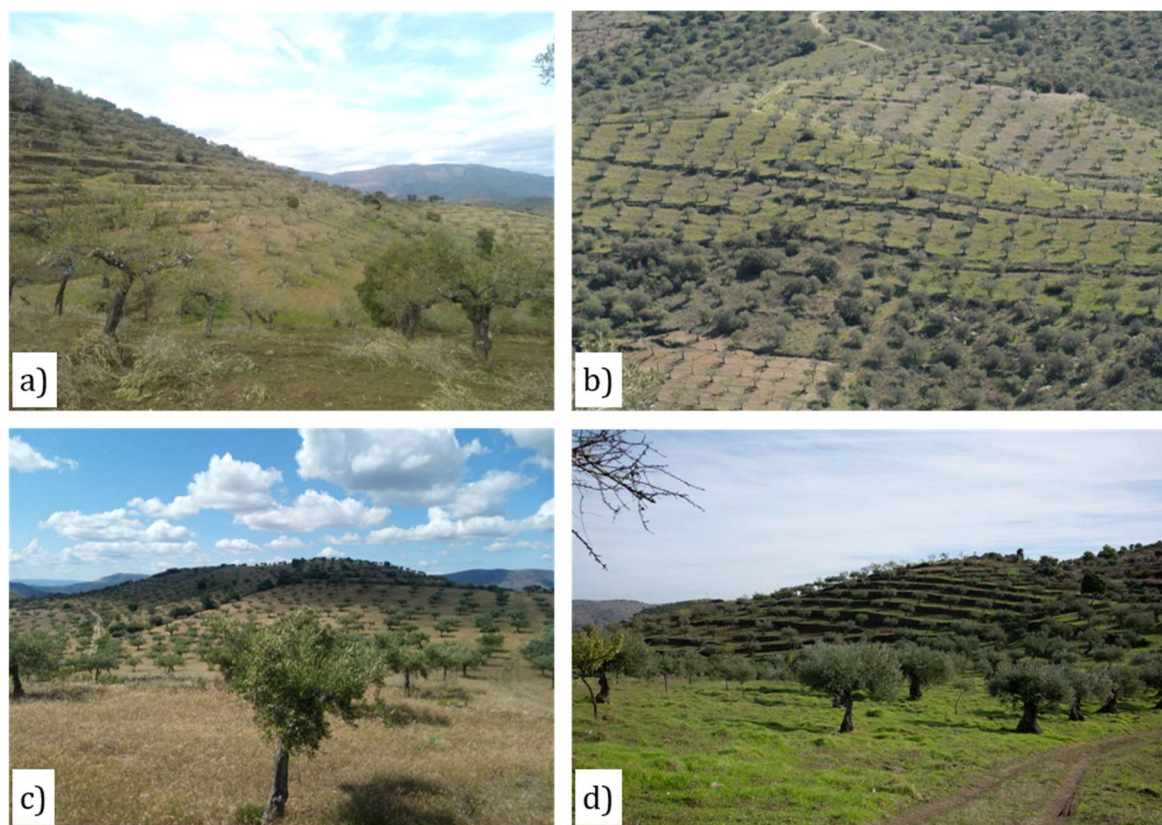


Figura 16 - Olivais na freguesia de Escalhão (Figueira de Castelo Rodrigo). a) Março de 2018; b) Abril de 2018; c) Junho de 2018; d) Novembro de 2018. Fotografias: Projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha” (2018).

No período dos voos efetuados neste trabalho (abril de 2018 até março de 2019), o clima na região de Figueira de Castelo Rodrigo, apresentou as seguintes características:

Primavera de 2018 (março a maio) (Figura 17) – caracterizou-se por valores da temperatura média do ar inferiores ao normal e por quantidade de precipitação muito superiores ao valor normal, classificando-se como fria e extremamente chuvosa. À data, março foi o 2º março mais chuvoso desde 1931, e o valor médio da temperatura média do ar foi o mais baixo desde 2000. Dada a elevada precipitação, terminou a situação de seca meteorológica que se verificava desde abril de 2017 (IPMA, junho de 2018).

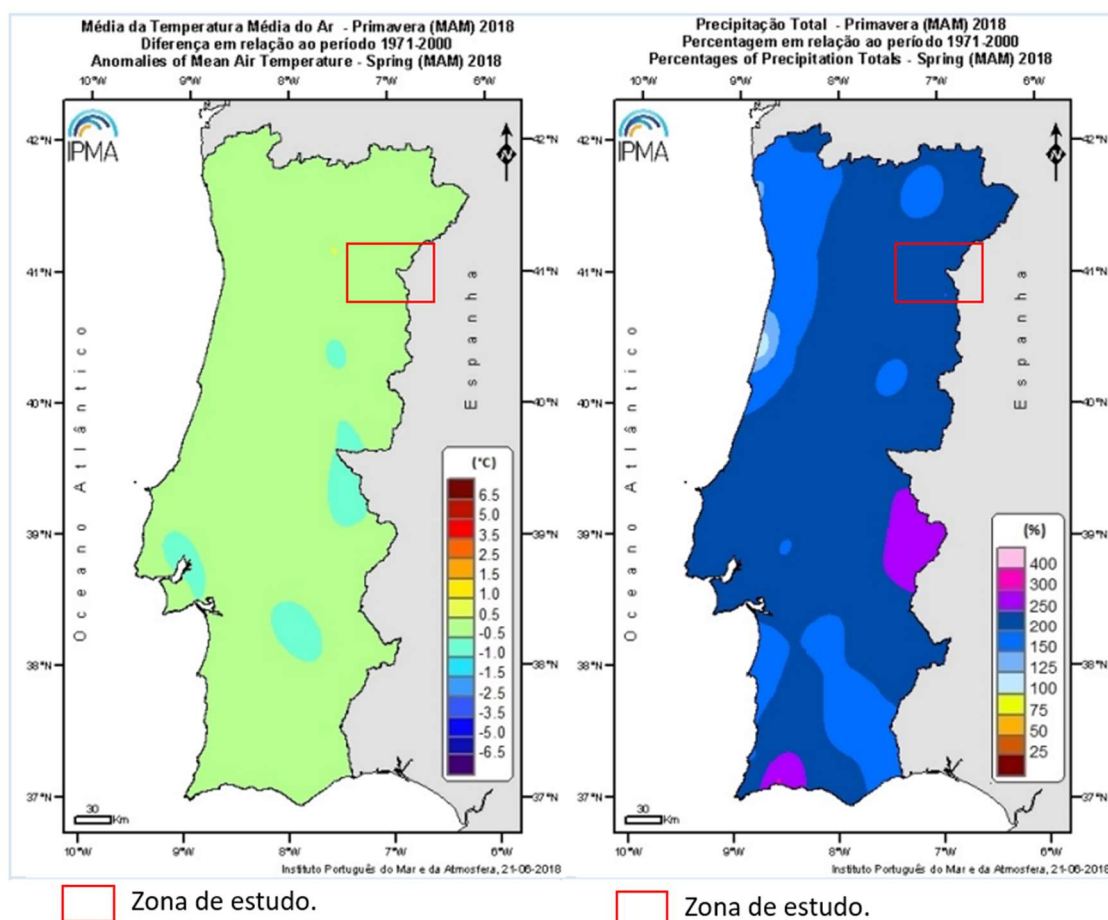


Figura 17 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) na primavera de 2018. Fonte: adaptado de IPMA (junho de 2018).

Verão de 2018 (junho a agosto) (Figura 18) – Classificado como normal em relação à temperatura do ar e à precipitação, teve as seguintes características e particularidades: o mês de junho apresentou-se como o 2º junho mais chuvoso desde 2000; ocorreu uma onda de calor em junho (entre os dias 15 a 25); o mês de julho foi o mais frio desde 2000; o mês de agosto foi o mais quente desde 2003, com um período excecionalmente quente entre os dias 1 a 6, e sendo o 4 de agosto o dia mais quente do século XXI (IPMA, setembro de 2018).

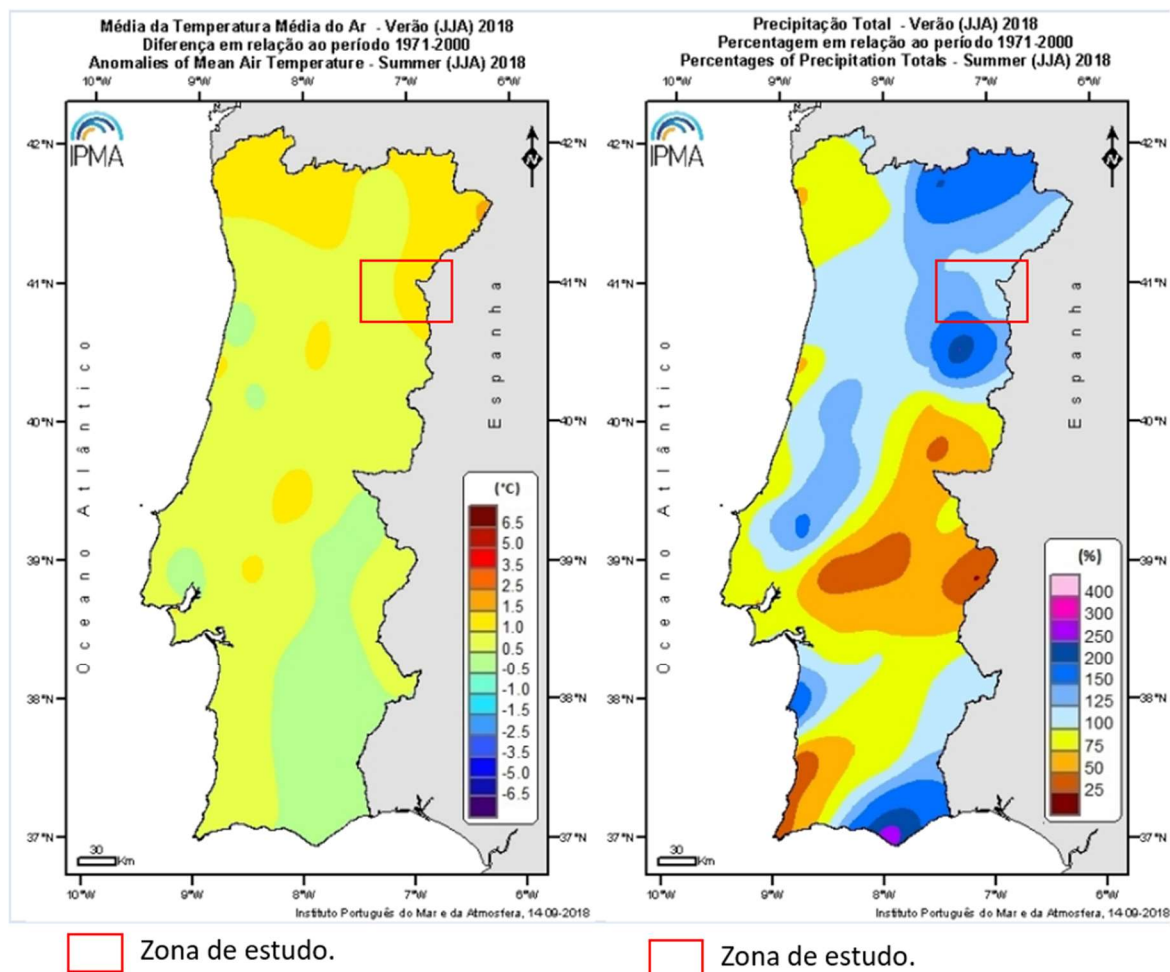


Figura 18 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no verão de 2018. Fonte: adaptado de IPMA (setembro de 2018).

Outono de 2018 (setembro a novembro) (Figura 19) - Classificado como normal em relação à precipitação e quente, em relação à temperatura do ar, destacam-se um mês de setembro excepcionalmente quente (sendo o mais quente dos últimos 88 anos, com o valor médio da temperatura máxima do ar mais alta desde 1931 e teve duas ondas de calor) e o 2º setembro mais seco dos últimos 30 anos (IPMA, dezembro de 2018). A 11 de novembro, ocorreu precipitação forte e persistente, em especial nas regiões Norte e Centro, que compensou a secura dos meses de setembro e outubro, tornando o trimestre “normal” em relação à precipitação.

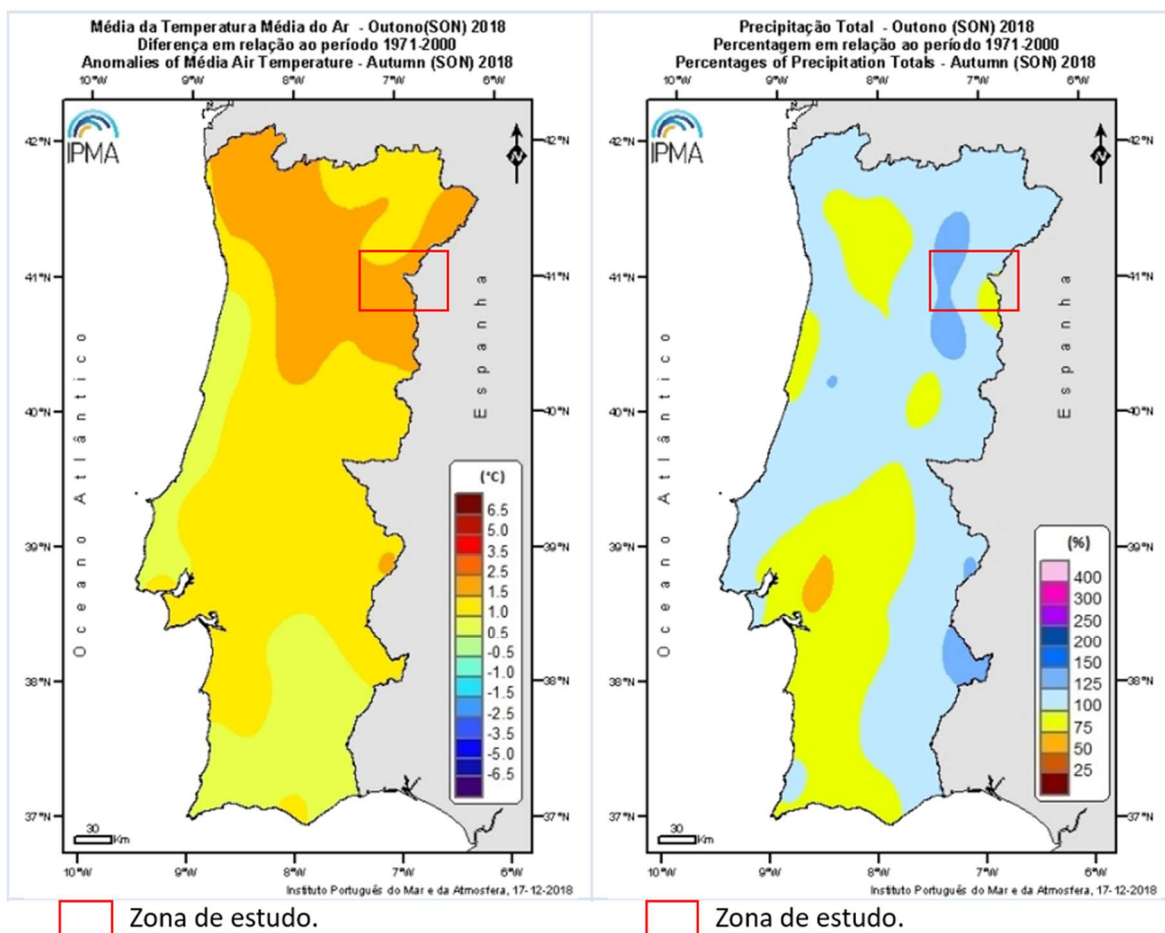


Figura 19 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no outono de 2018. Fonte: adaptado de IPMA (dezembro de 2018).

Inverno de 2019 (dezembro a fevereiro) (Figura 20) - classificou-se como quente em relação à temperatura do ar e extremamente seco em relação à precipitação. Apresentou o valor médio de temperatura do ar mais alto desde 1931, e foi o 4^o inverno mais seco desde 2000. Registaram-se grandes amplitudes térmicas entre os dias 4 e 9 de fevereiro, superiores a 20°C. No final do inverno, estava instalada uma situação de seca meteorológica (IPMA, março de 2019).

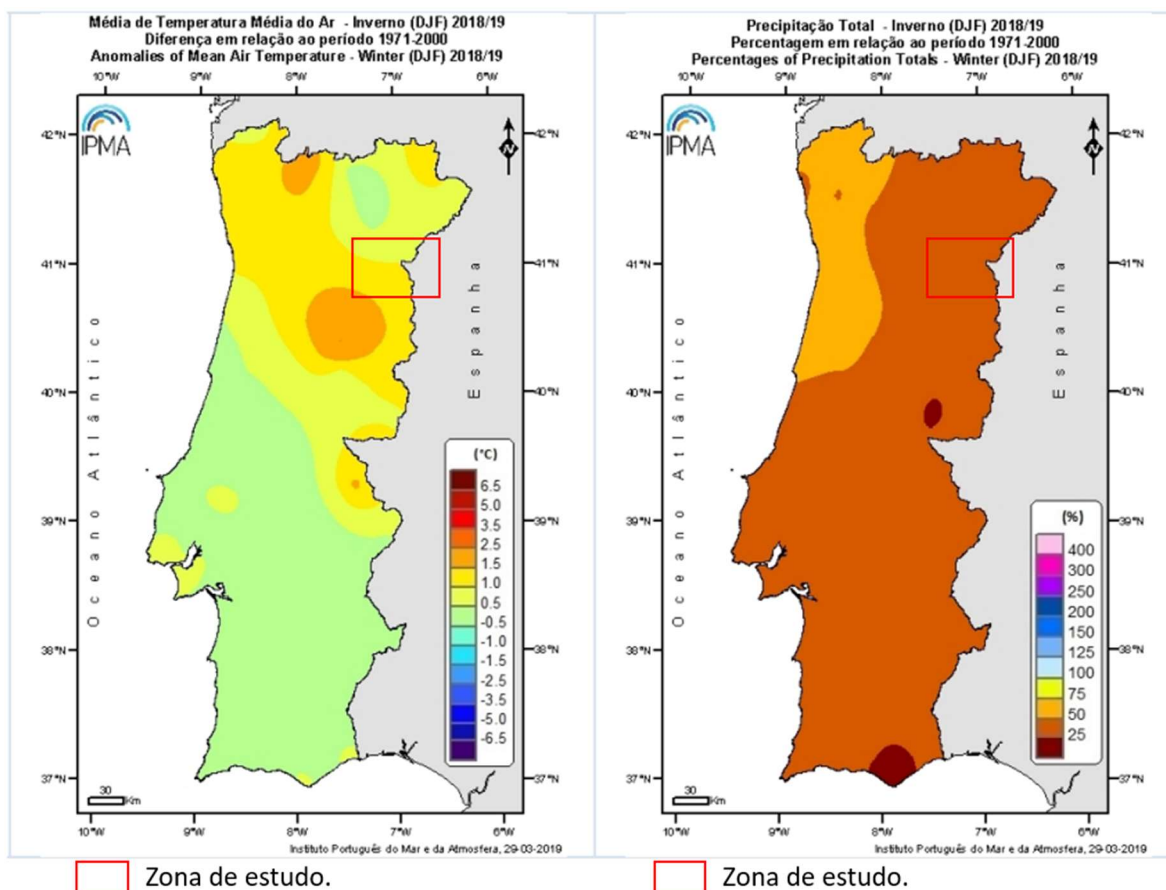


Figura 20 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) no inverno de 2018/19. Fonte: adaptado de IPMA (março de 2019).

Março de 2019 (Figura 21) – caracterizado por valores da temperatura média do ar superiores ao valor normal, e valores da quantidade de precipitação inferiores ao valor normal, classificou-se como um mês quente e seco. Ocorreu um período quente em março (entre os dias 18 a 31), com uma onda de calor entre os dias 22 e 31. Durante este mês, a intensidade de seca meteorológica agravou-se, tendo sido o 7^o março mais seco desde 2000, e a percentagem de água no solo diminuiu significativamente em relação ao final do mês anterior (IPMA, abril de 2019).

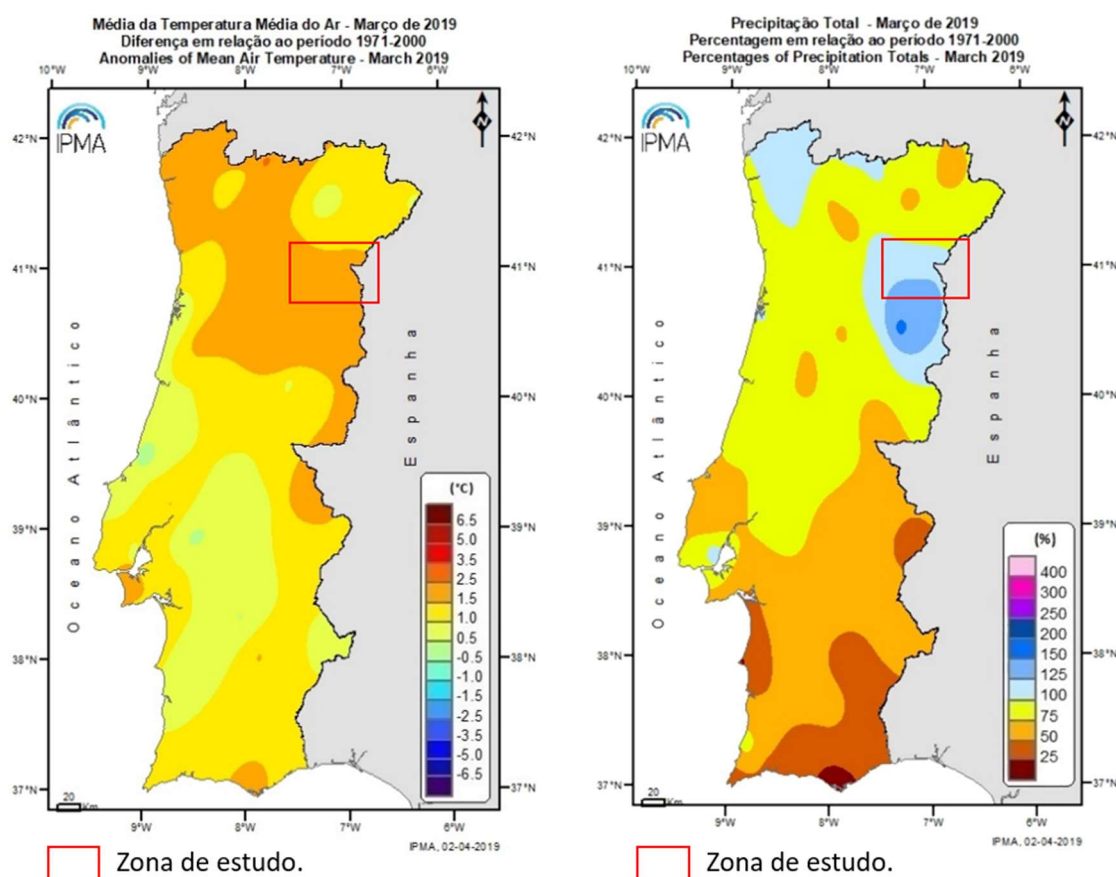


Figura 21 - Distribuição espacial das anomalias da temperatura média (diferença em relação ao valor normal 1971-2000) e da quantidade de precipitação (percentagem em relação ao valor normal 1971-2000) em março de 2019. Fonte: adaptado de IPMA (abril de 2019).

2.6.3. Breves noções de nutrição em olival

Na atualidade, os olivicultores lidam com inúmeros fatores que interferem no resultado final da produção, obrigando-os a dispor do máximo de informação e a aplicar os métodos produtivos mais eficientes, por forma a manter a cultura num ótimo estado de produção e de competitividade (Veiga & Vieira, 2019).

Como referido, as TIG e outros sistemas de suporte, que permitem a aquisição, o processamento e a análise de dados geoespaciais, podem ser complementadas com as análises de solo, entre outras ferramentas (Fernandez *et al.* (2019a)

As análises de solo, foliares, e da água de rega são um meio de diagnóstico da fertilidade do solo e do estado nutritivo da oliveira. Conhecer, avaliar e programar a fertilização antecipadamente, por forma a dosear de forma eficiente os nutrientes e efetuar eventuais correções, preferencialmente antes que ocorram carências, é de enorme importância para o olivicultor. A análise de terra permite conhecer as características físicas e químicas de frações homogêneas do olival, informando o seu estado de fertilidade e a disponibilidades de nutrientes. Por outro lado, a análise foliar reflete se o nível de disponibilidade dos nutrientes no solo resulta efetivamente na

capacidade de nutrir as oliveiras, uma vez que outros fatores, como o pH, podem interferir com a absorção dos nutrientes do solo (Veiga & Vieira, 2019).

Consoante as quantidades necessárias para o correto desenvolvimento das plantas, os nutrientes podem dividir-se em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes, podem dividir-se em macronutrientes principais (azoto, fósforo e potássio) e macronutrientes secundários (cálcio, magnésio e enxofre). Os micronutrientes (ferro, manganês, boro, zinco, cobre, molibdénio e cloro), apesar de serem absorvidos em pequenas quantidades, são essenciais ao desenvolvimento saudável das plantas (Veiga & Vieira, 2019).

No Quadro 4, resume-se a importância de cada nutriente no desenvolvimento das oliveiras.

Quadro 4 - Importância e proveniência dos nutrientes no desenvolvimento das oliveiras.

Nutriente	Importância e proveniência
Azoto (N)	É essencial ao bom desenvolvimento vegetativo, ao vigor da oliveira e à obtenção de uma produção satisfatória, tanto em quantidade como em qualidade. Muito móvel no solo, requer especial atenção na sua aplicação, devido às perdas por lixiviação. Provém da matéria orgânica presente no solo, e das aplicações de adubos e estrumes ao solo.
Fósforo (P)	Essencial no transporte de energia, dentro da planta, intervém nos processos de crescimento radicular e da vegetação, atuando também como promotor da floração. Naturalmente presente no solo, é pouco móvel e é facilmente retido por alguns dos seus constituintes, resultando em que apenas uma fração muito pequena do fósforo existente é que se encontra efetivamente disponível para as plantas.
Potássio (K)	Com efeito favorável na acumulação de ácidos orgânicos nas azeitonas, beneficia o tamanho e a qualidade da azeitona, e, também, a formação do azeite. Aumenta a resistência da planta contra agentes externos, como pragas, doenças, seca e frio. Com mobilidade média no solo, existe em quantidade satisfatória em solos de origem granítica. Valores muito altos criam antagonismo com outros nutrientes importantes, como o cálcio e o magnésio, dificultando a sua absorção pela planta.
Cálcio (Ca)	Essencial na estrutura das paredes celulares, permitindo a fortificação da planta. Em solos de origem granítica, a disponibilidade é baixa e está associada ao pH ácido. A correção do pH com calcário permite disponibilizar o cálcio existente no solo para as plantas.
Magnésio (Mg)	Integrante da clorofila, é um elemento importante para a fotossíntese, que converte energia solar em energia química (glicose) tendo, assim, um papel fulcral na produção e qualidade da azeitona. Apesar de aparecer medianamente disponível no solo, apresenta-se de forma muito reduzida no complexo de troca. O seu antagonismo com altos valores de potássio prejudica a sua assimilação.
Boro (Bo)	Parte essencial da cadeia de produção de açúcares e hidratos de carbono, é um elemento essencial no processo de floração e vingamento do fruto. A oliveira, sendo uma espécie com floração abundante, tem grande necessidade neste nutriente. Presente no solo, pode perder-se com chuvas intensas, pelo que, usualmente, as análises dos solos franco-arenosos apresentam baixos níveis de boro.

Fonte: adaptado de Veiga & Vieira (2019).

Na Figura 22, é apresentada a influência do pH na disponibilidade de alguns nutrientes.

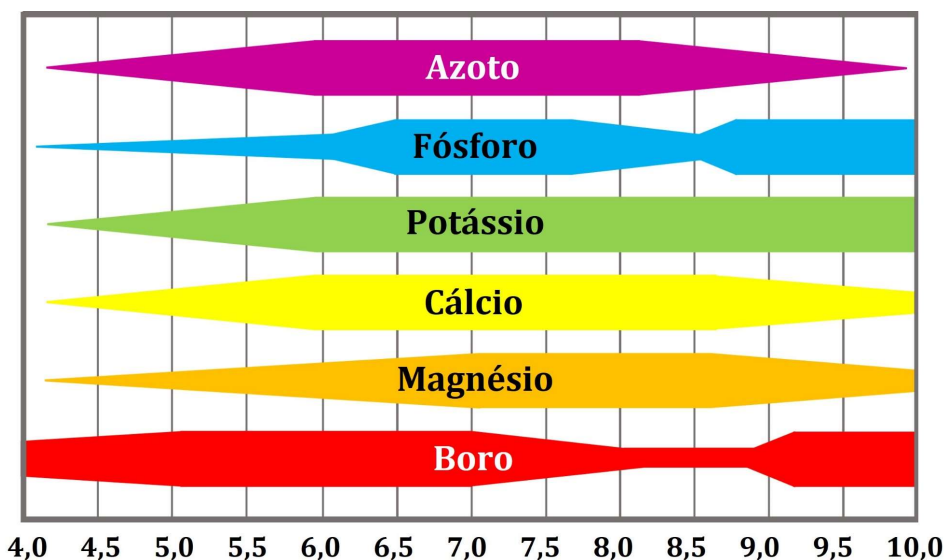


Figura 22 - Disponibilidade dos nutrientes no solo, em função do valor de pH. Fonte: adaptado de Lucas & Davis (1961).

2.7. Utilização de VANT na monitorização e gestão do olival

Existem vários estudos, relacionados com a utilização de VANT para monitorização e gestão do olival, e que apresentam resultados na deteção de doenças, na avaliação de fatores relacionados com a produção e rentabilidade do olival, nomeadamente a produtividade, a maturação da azeitona e a qualidade do azeite, na caracterização do olival, na gestão de rega, entre outros:

A utilização de deteção remota apresenta um potencial de deteção precoce de infeções causadas por *Verticillium dahliae*, fungo que causa a verticilose, bem como avaliar o grau de severidade da doença, através de indicadores baseados na temperatura da copa (medido pelo indicador CWSI), nas relações das bandas RGB, na fluorescência, nos índices de clorofila e carotenoides (Calderon *et al.*, 2013).

Utilizou-se a deteção remota como ferramenta para a descrição de diversas variáveis da gestão de um olival semi-intensivo, como a produtividade, rendimento em azeite, qualidade do azeite, incidência do ataque de pragas e doenças, entre outros, utilizando-se modelos ajustados para justificar a variabilidade espacial obtida. Concluiu-se, entre outros, que a utilização da fotografia aérea para a caracterização da maturação da azeitona numa parcela, tal como a variabilidade da acidez do azeite, apresentava grande viabilidade e utilidade, permitindo ao olivicultor a possibilidade de efetuar a colheita na data conveniente, gerir o investimento nas zonas da parcela não suficientemente produtivas e rentáveis, e ainda efetuar colheitas segmentadas para obter lotes de azeite diferenciados (Jesus, 2013).

No âmbito do projeto do Grupo Operacional (GO) Olivicultura e Azeite – “SustentOlive”, demonstraram que a utilização de um VANT de baixo-custo, aliado ao

processamento digital de imagem, se apresenta como uma alternativa viável e com elevada relação custo-benefício para a deteção automática de oliveiras e extração, também automática, dos parâmetros mais relevantes, nomeadamente a altura e o diâmetro da copa de cada árvore, através do recurso ao processamento fotogramétrico de imagens aéreas de elevada resolução e de técnicas de processamento digital de imagem. Compararam-se os parâmetros extraídos de dois modelos de altura de copa (MAC) distintos: RGB e multiespectral, validando-se os valores estimados pelo método, com medições de campo. Foi possível concluir que, para extração destes parâmetros de oliveiras, o MAC obtido através dos dados RGB apresentou um melhor desempenho, quando comparado com o MAC resultante dos dados multiespectrais (Marques *et. al.*, 2018).

Um estudo sobre a utilização de imagens de satélite para a otimização produtiva de um olival superintensivo com a cultivar ‘Arbosana’, onde se usaram os índices NDVI e NDWI para explicar a variabilidade espacial do volume das árvores, do vingamento, da produtividade e do rendimento em azeite, levou à conclusão de que os índices vegetativos explicam a variabilidade existente no volume das árvores, onde as zonas com maior índice NDVI traduzem árvores com maior volume e as zonas com menor índice refletem árvores com menores volumes. No entanto, o modelo usado inicialmente não explicou a possível variabilidade existente na parcela, pelo que se testou um novo modelo que tinha em consideração o volume das árvores. Observou-se que as zonas com árvores de maiores volumes e com maiores índices de NDVI tinham maior percentagem de inflorescências com pelo menos 1 fruto vingado, maiores percentagens de vingamentos, maior número médio de frutos/inflorescência, e que, em relação à produtividade e rendimento em azeite existente na parcela, as árvores com maior volume apresentaram maior produção e menor rendimento em azeite (Falcão, 2019).

No projeto “SustentOlive”, foram estudadas as temperaturas da copa e da superfície do solo em diferentes estratégias de rega, através de imagens de infravermelho térmico obtidas por VANT. Concluiu-se que a utilização de imagens térmicas infravermelhas obtidas por deteção remota provou ser extremamente útil para a estimativa da temperatura da copa da oliveira e da superfície do solo, o que permite aplicar diferentes tratamentos de irrigação (Marques *et al.*, 2020).

Noutro estudo do projeto SustentOlive, avaliou-se a resposta da refletância foliar à rega deficitária em olival, e concluiu-se que a refletância multiespectral surge como uma estratégia útil e potencial para monitorizar o estado da água, e uma ferramenta promissora para a gestão da rega (Marques *et al.*, 2021).

No âmbito do projeto I+D+i MICIN 2020 *Robótica y Teledetección Aplicada al Cultivo del Olivo* (OliBoTIC) foi desenvolvido um método eficiente para a análise do conteúdo foliar em azoto, fósforo e potássio (NPK) em oliveiras, por meio da análise e modelagem de imagens multiespectrais obtidas por um VANT, nas condições de campo de um olival superintensivo e fertirrigado. Os resultados mostraram a adequação da abordagem de

processamento de imagem proposta e indicaram as redes neuronais artificiais (RNA) como a melhor técnica para as condições experimentais avaliadas, ressaltando que a abordagem deve ser validada em diferentes condições ambientais, variedades de azeitona e estágios vegetativos da planta antes de se fazerem recomendações de fertilização (Noguera *et al.*, 2021).

Um estudo sobre a avaliação das diferenças entre o NDVI obtido na primavera e o NDVI obtido no outono, num olival de montanha, mostrou diferenças interzonais significativas, bem como entre as estações do ano (primavera: -0,49 a 0,74 e outono: -0,08 a 0,96). Também se observou que as árvores em encostas expostas a Norte e com menor disponibilidade hídrica apresentavam diâmetros de copa e vigor vegetativo menores e que, por outro lado, mesmo em encostas voltadas para Nordeste e Noroeste, a presença de água estava relacionada com árvores com maior vigor vegetativo e copas maiores (Roque *et al.*, 2021a).

Um estudo, sobre a aplicação da detecção remota na monitorização de olivais tradicionais de montanha, permitiu a análise das diferenças entre o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) observado em duas fases fenológicas distintas: no início do desenvolvimento vegetativo (início da primavera) e na maturação da azeitona (outono). Os resultados mostraram diferenças significativas entre as estações, e possibilitaram a identificação de zonas menos vigorosas, o que permite ao olivicultor uma melhor gestão do seu olival (Roque *et al.*, 2021b).

No âmbito do projeto TecnOlivo, com incidência em olivais portugueses e espanhóis, um estudo descreve uma metodologia para a detecção automatizada e delineamento individual de copas de oliveiras em representações aéreas de olivais intensivos, por meio de técnicas de processamento e análise de imagens. Ambicionando poder fornecer informações precisas sobre a população de plantas e a cobertura em olivais plantados em sebe, a metodologia usada resultou em que mais de 94% dos pixels pertencentes à copa das árvores foram classificados corretamente, e mais de 98% das árvores foram detetadas com sucesso, representando uma ferramenta promissora para automatizar o inventário de plantas e estimar a cobertura individual da copa arbórea em olivais intensivos (Ponce Real *et al.*, 2022).

3. Material e métodos

3.1. Caracterização da área de estudo

Os olivais deste estudo situam-se na freguesia de Escalhão, concelho de Figueira de Castelo Rodrigo, distrito da Guarda, no nordeste de Portugal (Figura 23).

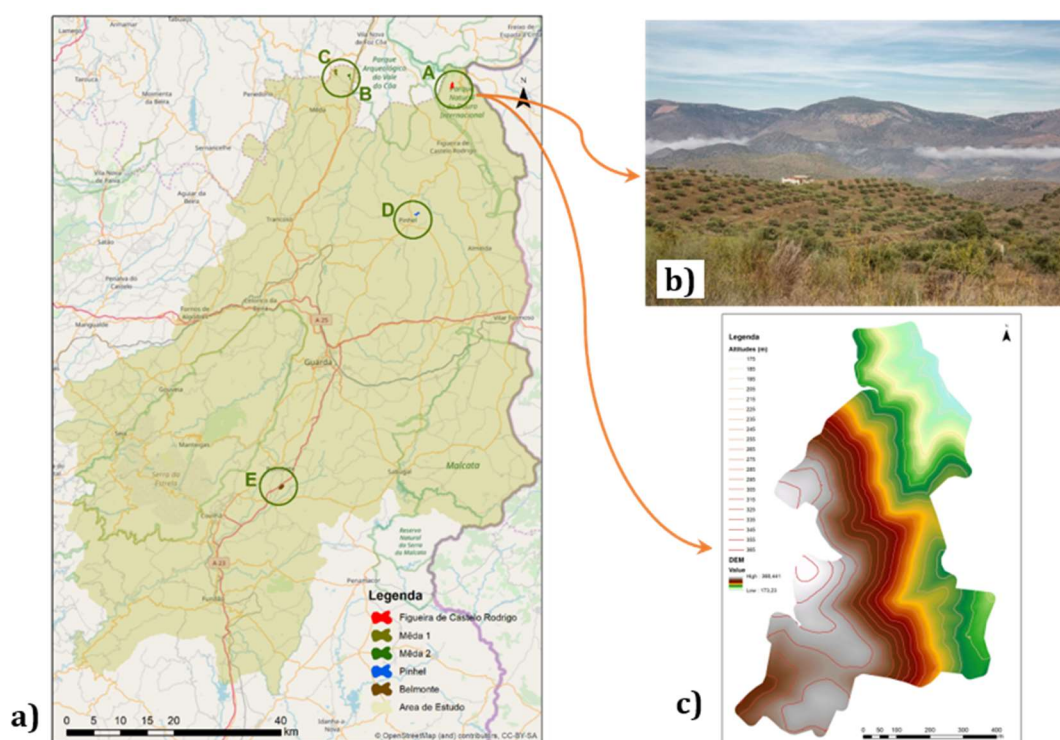


Figura 23 - Localização e fisiografia da parcela em estudo. a) Localização do olival (zona A) na área de estudo do projeto PVAM; b) Enquadramento fotográfico da paisagem; c) Modelo Digital do Terreno. Fonte: adaptado de Roque *et al.* (2021a).

A área sobrevoada possui cerca de 45 ha, abrangendo as parcelas contíguas de dois produtores, que designaremos de MH e CAPR.

Diferenciando as parcelas por produtor, em função dos dados recolhidos dos cadernos de campo e dos obtidos através da documentação do Sistema de Identificação Parcelar (iSIP) do Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas (IFAP), observamos que:

- O produtor MH tem uma parcela de 18,34 ha, com 16,08 ha de olival de sequeiro, 1,37 ha de amendoal e 0,89 ha de matos. Neste produtor, o olival está dividido em duas parcelas, existindo um olival com compasso regular (8,31 ha), com oliveiras maioritariamente acima dos 50 anos, adiante designado por MH 1.1., e um olival de

dispersão mais irregular (7,77 ha), com oliveiras maioritariamente acima de 80 anos, adiante designado por MH 1.2.

- O produtor CAPR tem uma parcela de 23,76 ha, com 23,21 ha de olival de sequeiro e compasso mais regular (CAPR 2.1), com a maioria das árvores de idade superior a 80 anos e 0,55ha de matos.

Em ambos, existem oliveiras mais novas, resultantes do preenchimento de falhas que vão ocorrendo.

As variedades de oliveiras são as típicas da região, havendo alguma dificuldade na identificação das mesmas, devido à antiguidade, e às misturas que se vão fazendo na compensação das falhas, mas a maioria das oliveiras são das variedades Carrasquinha, Picual e Negrinha.

Na campanha de 2018/2019, não foram realizadas adubações, correções de solo, regas, nem tratamentos fitossanitários em nenhum dos olivais.

As parcelas MH 1.1 e MH 1.2 não foram podadas nesse ano.

A parcela CAPR 2.1 foi podada entre janeiro e abril de 2018, numa forma medianamente severa, com recurso a serrotes e motosserra.

A gestão da flora adventícia das três subparcelas foi feita através de escarificação do solo, no final da primavera.

Em ambos os produtores, a colheita foi iniciada depois do voo de outubro de 2018, de forma tradicional com toldos e varejadores manuais e elétricos, e onde também se cortaram ramos produtivos e se reduziu parte da copa.

3.2. Tecnologias de Informação Geográfica

Levantamentos aéreos e dados espaciais

Neste trabalho, utilizaram-se os dados resultantes dos voos sobre olivais de montanha pertencentes a dois produtores, no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo.

Foram realizados levantamentos aéreos em abril, junho, agosto e novembro de 2018 e março de 2019, coincidindo com diferentes fases do estado fenológico do olival: (B) início do desenvolvimento vegetativo, (F2) floração, (H) endurecimento do caroço, (J) maturação, (A) repouso vegetativo, de acordo com o Quadro 5.

Quadro 5 - Número dos voos, respetivas datas e correspondentes fases fenológicas do olival.

Nº de voo	1	2	3	4	5
Data	Abril, 2018	Junho, 2018	Agosto, 2018	Novembro, 2018	Março, 2019
Estado fenológico	B - Início do desenvolvimento vegetativo	F2 - Floração	H - Endurecimento do caroço	J - Maturação	A - Repouso vegetativo

Os VANT, câmaras e *softwares* tinham as seguintes características:

Monomotor Ebee Classic – Sensefly, de asas fixas, com câmaras Canon G9X e câmara multiespectral Parrot Sequoia com os seguintes sensores: *Green*, *Red*, *Red Edge* e *Near InfraRed* (NIR) calibradas radiometricamente, com *software* Pix4D, e câmara Canon S110 NIR.

Quadricóptero Phantom 4 Pro - DJI, com câmara RGB (Vermelho, Verde e Azul) de 20 *Megapixels* (MP).

No Quadro 6, apresentam-se os sensores e bandas utilizados.

Quadro 6 - Sensores e bandas usadas nos voos.

Banda	Green	Red	Red Edge	Near Infrared
Comprimento de onda (nm)	550	660	735	790
Largura de banda (nm)	40	40	10	40
Largura de banda mínima e máxima (nm)	530 - 570	640 - 680	730 - 740	770 - 810
MP	1,2	1,2	1,2	1,2

3.3. Processamento dos dados

Os dados e imagens capturados pelos VANT foram processados com o *software* “Pix4D for Desktop”, resultando em imagens que, através do programa ArcGIS - ArcMap, da ESRI (ESRI, 2011), e das suas diferentes ferramentas permitiram a elaboração dos mapas dos indicadores, bem como das tabelas de análise estatística descritiva. Foi utilizada o método de interpolação espacial “Inverso da Distância Ponderada” (IDW), para criar os mapas de distribuição espacial das características físico-químicas dos solos.

3.2.1. Processamento dos dados espaciais

Produziram-se os mapas dos IV selecionados com a informação proveniente das bandas obtidas nos voos (em *layers*), e as respetivas fórmulas, através da ferramenta *ArcToolbox > Spatial Analyst Tool > Map Algebra > Raster Calculator* (Figura 24).

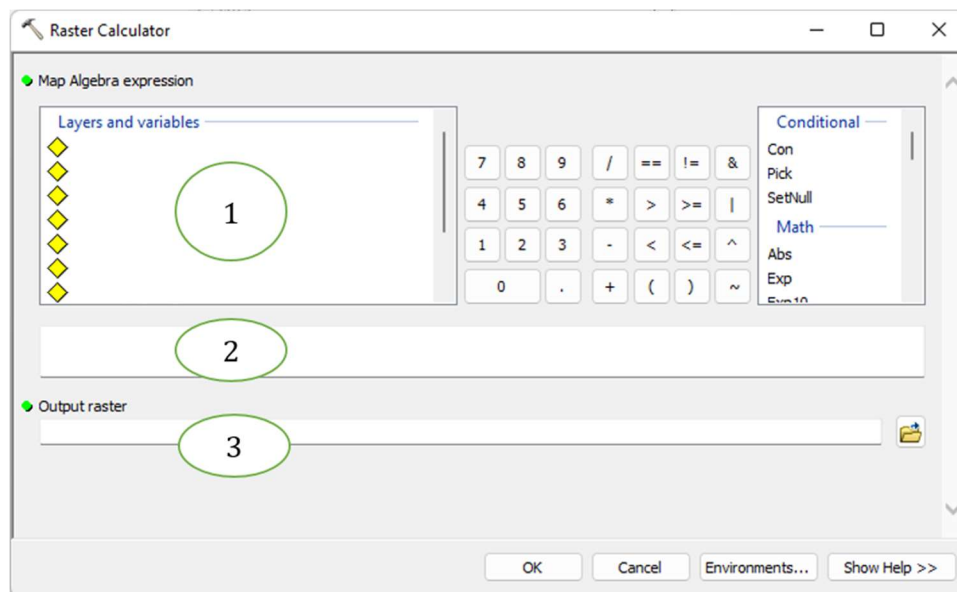


Figura 24 - Ferramenta Raster Calculator. 1) Inserem-se as “layers” (camadas) a analisar; 2) Insere-se a fórmula do IV desejado; 3) Insere-se o caminho e nome do ficheiro.

3.2.2. Índices de vegetação utilizados

Neste trabalho, avaliaram-se os seguintes índices, calculados com as respetivas fórmulas:

NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), de Rouse *et al.* (1974):

$$= \frac{R_{NIR} - R_R}{R_{NIR} + R_R} = \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670}}$$

OSAVI (*Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* - Índice De Vegetação Ajustado Ao Solo Otimizado), de Rondeaux *et al.* (1996):

$$= (1 + 0,16) \times \frac{R_{800} - R_{670}}{R_{800} + R_{670} + 0,16}$$

SR (*Simple Ratio* - Rácio Simples), de Jordan (1969):

$$= R_{NIR}/R_R$$

MSR (*Modified Simple Ratio* - Rácio Simples Modificado, de Chen (1996):

$$= \frac{R_{800}/R_{670} - 1}{(R_{800}/R_{670})^{0,5} + 1}$$

Greenness (Verdor), de Calderón *et al.* (2013):

$$G = R_{570}/R_{670}$$

3.2.3. Estatística Zonal

A função de estatística zonal calcula os valores estatísticos de uma matriz ou *raster* dentro das zonas de outro conjunto de dados geográficos. A análise estatística dos IVs foi feita através da ferramenta **ArcToolbox > Spatial Analyst Tool > Zonal > Zonal Statistics as Table** (Figura 25). Utilizou-se o identificador “número de árvore” como elemento agregador da estatística, produzindo-se os seguintes *outputs* estatísticos: soma, média, mediana, máximo, mínimo, desvio-padrão. Esta ferramenta foi aplicada em cada um dos cinco voos, e para cada um dos cinco IV. A tabela obtida (Figura 26) para cada um dos voos, tem os valores da soma, média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo do IV, de cada uma das 4548 árvores.

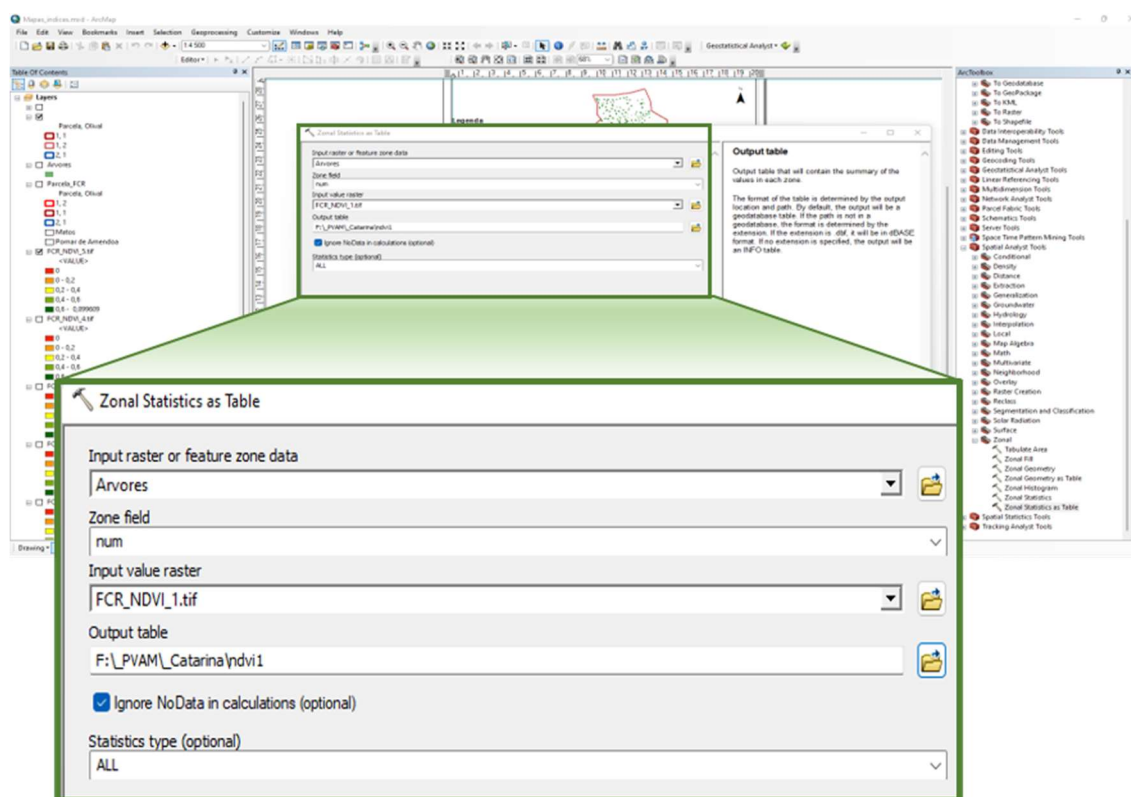


Figura 25 - Aplicação da ferramenta “Zonal Statistics as Table”.

FID	Area	num	par	NDVI1sum	NDVI1mean	NDVI1media	NDVI1stdev	NDVI1min	NDVI1max
4524	4522	8,798347651	4532	55,08979305	0,177137598	0,208486852	0,117589285	-0,097620659	0,36978682
4525	4523	8,798347651	4533	88,14594181	0,286188123	0,285816982	0,050192391	0,179245129	0,391610265
4526	4524	8,798347651	4534	68,22454741	0,222956037	0,216027819	0,067616972	0,014210748	0,37351656
4527	4525	4,522983119	4535	41,17111177	0,25893781	0,292001545	0,102714282	0,045737959	0,418554872
4528	4526	4,522983119	4536	25,20750001	0,158537736	0,134800717	0,103293713	-0,024239516	0,366887212
4529	4527	8,72493681	4537	70,55761297	0,229829358	0,228012353	0,034509608	0,142890751	0,315195292
4530	4528	8,72493681	4538	68,88055764	0,228081317	0,252938002	0,078884383	0,013868243	0,349061608
4531	4529	9,244527689	4539	85,81671795	0,26405144	0,279642135	0,074730242	0,009417268	0,411478043
4532	4530	9,244527689	4540	12,73063372	0,039051024	0,044390438	0,059687784	-0,13312237	0,156990677
4533	4531	6,789877057	4541	38,06411432	0,162667155	0,174055301	0,103778215	-0,049726099	0,31250295
4534	4532	6,789877057	4542	61,91812313	0,2537628	0,25119552	0,038427838	0,157340378	0,345597744
4535	4533	6,789877057	4543	47,65226273	0,199381852	0,215329453	0,07670488	-0,041838352	0,329800934
4536	4534	6,789877057	4544	28,2016851	0,120520022	0,121329412	0,031461998	0,042476125	0,216740787
4537	4535	6,789877057	4545	48,3217099	0,205624297	0,22408551	0,072822676	-0,018399356	0,311656922
4538	4536	6,789877057	4546	30,29544235	0,12623101	0,139787011	0,058243132	-0,039156958	0,233598813
4539	4537	21,28173598	4547	343,3269826	0,463955382	0,466529086	0,120489251	0,029305847	0,678524554
4540	4538	2,86159665	4548	35,31488992	0,36035602	0,379282326	0,09186957	0,13577947	0,515216112
4541	4539	8,100031527	4549	2,114,5347373	0,406151551	0,437303975	0,133654533	0,06819915	0,571054757
4542	4540	4,441256257	4550	72,24857652	0,472212918	0,487073332	0,048847235	0,251598388	0,53137666
4543	4541	10,09414142	4551	171,9606651	0,485764591	0,624382526	0,220343698	0,020128708	0,683951735
4544	4542	10,59274442	4552	157,7338789	0,429792586	0,441016763	0,048552615	0,27597177	0,512845457
4545	4543	7,712520859	4553	112,2108608	0,412539929	0,45397	0,09948358	0,16809693	0,54929024
4546	4544	13,88442348	4554	233,3353092	0,480113805	0,499460191	0,074797644	0,283517212	0,592683911
4547	4545	5,750146441	4555	37,44243568	0,188152943	0,208499983	0,077586851	0,022942012	0,318316936
4548	4546	8,73675496	4556	74,13723775	0,240705317	0,237770878	0,118040369	-0,030070288	0,430253446
4549	4547	22,72397082	4557	375,4134487	0,472218174	0,476047516	0,035812639	0,356809914	0,555131435
4550	4548	4,473603567	4558	25,38556643	0,160668142	0,174984612	0,07648314	-0,030502627	0,313413352
4551									
4552									
4553									

Figura 26 - Tabela (parcial) resultante da aplicação da ferramenta “Zonal Statistics as Table”. 1) Número de árvore; 2) Dados obtidos (soma, média, mediana, desvio-padrão, mínimo e máximo) do NDVI.

Para as matrizes de correlação recorreu-se ao programa PAST – *Paleontological Statistics*, versão 4.1 (Hammer *et al.*, 2001).

3.4. Análises de solo

No produtor CAPR (parcela 2.1), efetuaram-se análises de solo. Foi realizado um estudo prévio da parcela, ao nível do relevo e da densidade do olival, que resultou na divisão em cinco subparcelas (Figura 27c). Em cada subparcela, recolheram-se 3 amostras de solo compósitas, provenientes de cinco árvores.

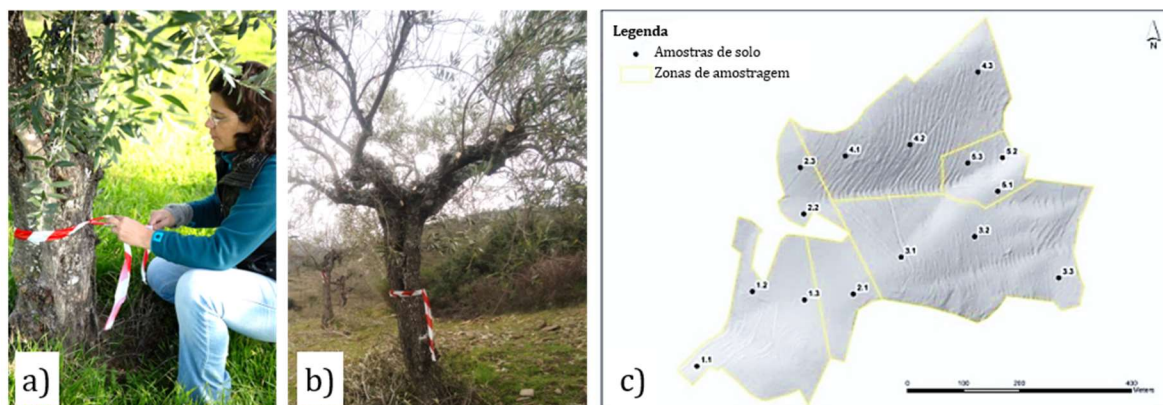


Figura 27 - Identificação e rede de amostragem das colheitas de solo. a) Marcação das oliveiras; b) Oliveira marcada; c) Localização dos pontos de amostragem (Roque *et al.*, 2021). Fotografias: Projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha”, 2018 (inéditas).

As análises das amostras de solo recolhidas no campo foram realizadas no Laboratório de Solos da Escola Superior Agrária de Castelo Branco, de acordo com os métodos descritos no Quadro 7.

Quadro 7 - Metodologias usadas na análise das amostras de solo, em relação à textura, ao pH, ao teor em matéria orgânica e aos teores em fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro.

Parâmetros	Métodos
Textura	Método interno de análise granulométrica
pH (H ₂ O e KCl)	ISO 10390:2005 Potenciometria (em suspensão 1:2,5)
Matéria orgânica (%)	Método Walkley & Black (Modificado)
Fósforo assimilável (mg.kg ⁻¹)	Método de Égner-Rhiemn
Potássio assimilável (mg.kg ⁻¹)	Método de Égner-Rhiemn
Cálcio	Método do Acetato de Amónio tamponizado a pH = 7,0 (Extração) e doseamento por Espectrofotometria de Absorção Atómica
Magnésio	Método do Acetato de Amónio tamponizado a pH = 7,0 (Extração) e doseamento por Espectrofotometria de Absorção Atómica
Boro	Método de extração por água fervente e doseamento por colorimetria

Para criar os modelos de distribuição espacial, interpolaram-se os dados das análises, utilizando-se a ferramenta geoestatística Distância Inversa Ponderada (IDW – Inverse Distance Weight), também disponível no ArcGis: **ArcToolbox > Spatial Analyst Tool > Interpolation > IDW**. Desta forma, criaram-se os mapas correspondentes ao pH, e aos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro.

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise fisiográfica do olival

Na análise dos resultados dos voos foi mantida a diferenciação das parcelas por produtor, e incidindo apenas sobre as parcelas de olival MH 1.1, MH 1.2 e CAPR 2.1, são apresentados resultados no Quadro 8, e alguns dos quais estão representados na figura 28.

Quadro 8 - Caracterização das parcelas de olival por produtor, no que respeita à área, ao número de oliveiras, densidade, compasso, idade estimada e altitude.

Produtor	Área (ha)	N.º de oliveiras	Densidade (n.º de oliveiras/ha)	Compasso	Idade estimada (anos)	Altitude (m)
MH 1.1	8,31	581	69,92	Olival regular	> 50	178,45 - 328,33
MH 1.2	7,77	1100	141,57	Olival disperso	> 80	210,49 - 359,77
CAPR 2.1	23,21	2868	123,57	Olival regular	> 80	197,13 - 369,53

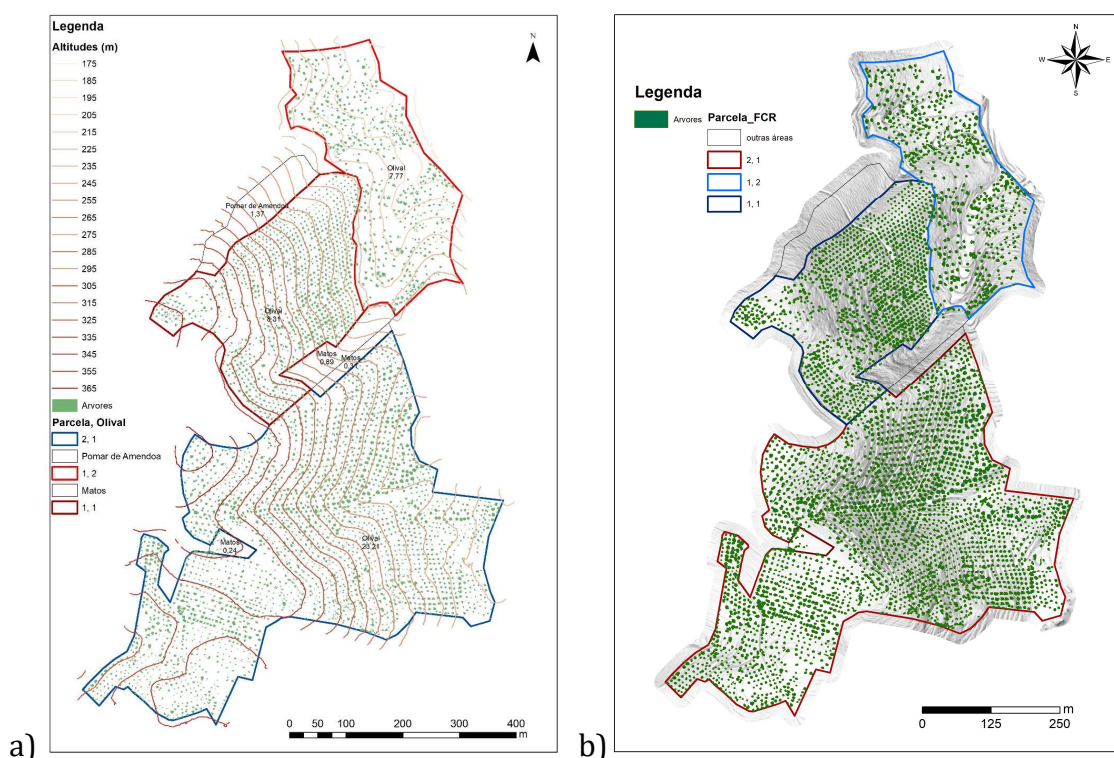


Figura 28 - Localização das parcelas e das respetivas árvores: a) Mapa de isolinhas; b) Mapa de sombras.

Na Figura 28 b), observa-se uma maior concentração de oliveiras, e com maiores áreas de copas, nas zonas junto às linhas de água (talvegues e micro-talvegues), especialmente nas parcelas MH 1.1 e CAPR 2.1.

Na continuidade da análise fisiográfica dos olivais, foi feita a classificação das árvores por área de copa e, com a utilização de uma Matriz de Correlação, analisou-se a relação entre a classe de área média de copa das árvores com a altura das mesmas, e com a exposição, o declive e a altitude a que estavam situadas, bem como os parâmetros fisiográficos entre si.

4.1.1. Classificação das árvores por área de copa

Após a extração das copas das oliveiras, foi calculada a sua área, e classificadas em quatro classes: classe 1 ($\leq 2,0 \text{ m}^2$), classe 2 ($>2,0 \text{ a } \leq 7,0 \text{ m}^2$), classe 3 ($>7,0 \text{ a } \leq 16,0 \text{ m}^2$) e classe 4 ($> 16,0 \text{ m}^2$).

No Quadro 9, apresentam-se o número de oliveiras divididas por classes de área média de copa, a área média de cada classe, por parcela, e no total.

Quadro 9 - Número de oliveiras e área média de copa, por parcela, por classes de áreas médias de copa, e no total.

		Classes de área média de copa (m^2)				Total
		1	2	3	4	
Parcela		$\leq 2,0$	$> 2,0 \text{ a } \leq 7,0$	$> 7,0 \text{ a } \leq 16,0$	$> 16,0$	
MH 1.1	N.º de oliveiras	40	140	320	81	581
	Área média (m^2)	1,73	4,40	10,84	21,11	10,09
MH 1.2	N.º de oliveiras	45	352	626	77	1100
	Área média (m^2)	1,69	5,03	10,32	19,84	8,94
CAPR 2.1	N.º de oliveiras	156	1088	1240	384	2868
	Área média (m^2)	1,66	4,58	10,51	21,32	9,23
Total	N.º de oliveiras	241	1580	2186	542	4549
	Área média (m^2)	1,67	4,67	10,50	21,08	9,27

A classificação das árvores, por área média de copa, demonstra-nos que, no total das três parcelas em estudo, a maior percentagem das árvores (48%) possui uma área média de copa na classe 3, seguida da classe 2 (35%).

Estes resultados estão de acordo com a idade atribuída a estas árvores, e às substituições ao longo dos anos. No entanto, é necessário ter em consideração que, no ano do voo, as árvores da parcela CAPR 2.1 foram podadas, o que, evidentemente, diminuiu a área média de copa, e se refletiu numa percentagem aproximada das classes 2 e 3, respetivamente de 38% e 43%.

4.1.2. Altura das árvores

Da base de dados, conseguem-se extrair os perfis da altura de cada árvore, e o perfil de linhas de árvores, conquanto não seja sempre uma tarefa fácil e bem sucedida, especialmente em zonas de maior declive e com as árvores perto de outra vegetação. Na Figura 29, apresenta-se um exemplo de perfil de uma árvore isolada (29 b), bem como de uma linha de árvores (29 c).

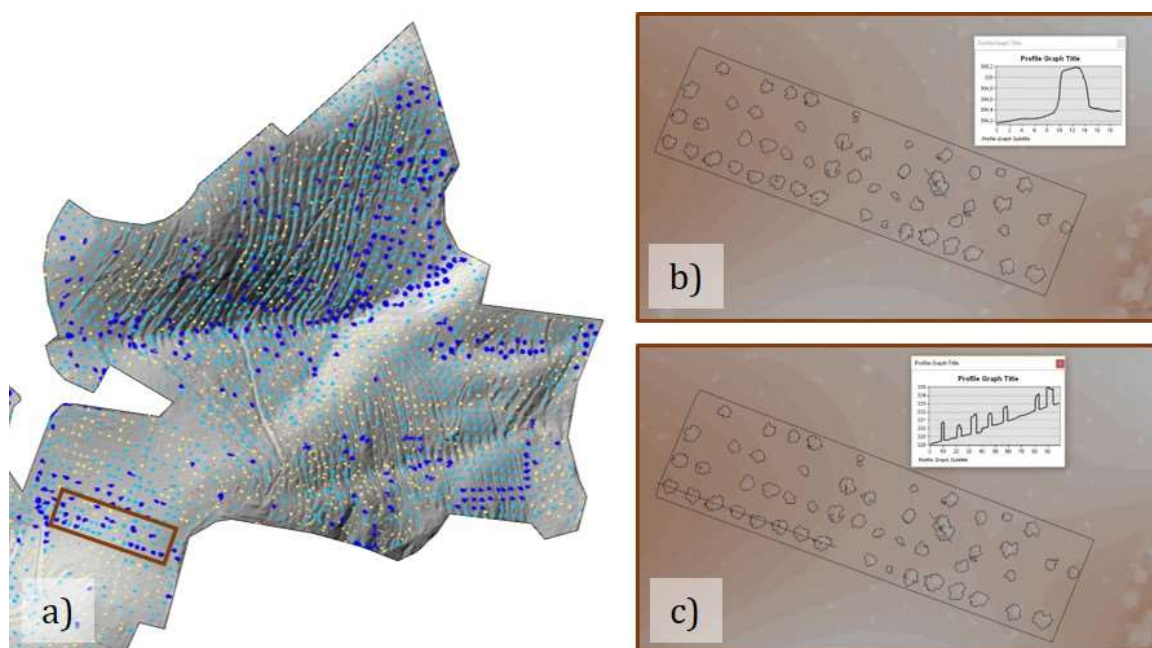


Figura 29 - Cálculo da altura das árvores. a) Zona de amostragem para avaliação da altura das árvores, na parcela CAPR 2.1. b) Perfil de altura de uma árvore. c) Perfil de altura de uma linha do olival.

4.1.3. Altitude das parcelas de olival

A altitude a que se situam as oliveiras (entre os 178,45 m e os 369,53 m) está representada no Quadro 10, que apresenta os valores mínimos e máximos de altitude, distribuídas por parcelas e por classes de copas de árvores. A altitude também se representa na Figura 30, através de um mapa de isolinhas e de um MDT.

Quadro 10 - Mínimo e máximo de altitude das oliveiras, por parcela e por classes de áreas médias de copa.

Parcela		Classes de áreas médias de copa (m ²)				Total
		≤ 2.00	>2.00 a ≤7.00	>7.00 a ≤16.00	> 16.00	
MH 1.1	Mín.	180,80	178,45	179,57	182,25	178,45
	Máx.	236,13	328,33	324,96	320,21	328,33
MH 1.2	Mín.	226,55	210,49	212,94	232,00	210,49
	Máx.	352,19	358,83	359,77	358,65	359,77
CAPR 2.1	Mín.	222,64	197,13	212,00	219,24	197,13
	Máx.	360,51	369,16	369,53	369,01	369,53
Total	Mín.	180,80	178,45	179,57	182,25	178,45
	Máx.	360,51	369,16	369,53	369,01	369,53

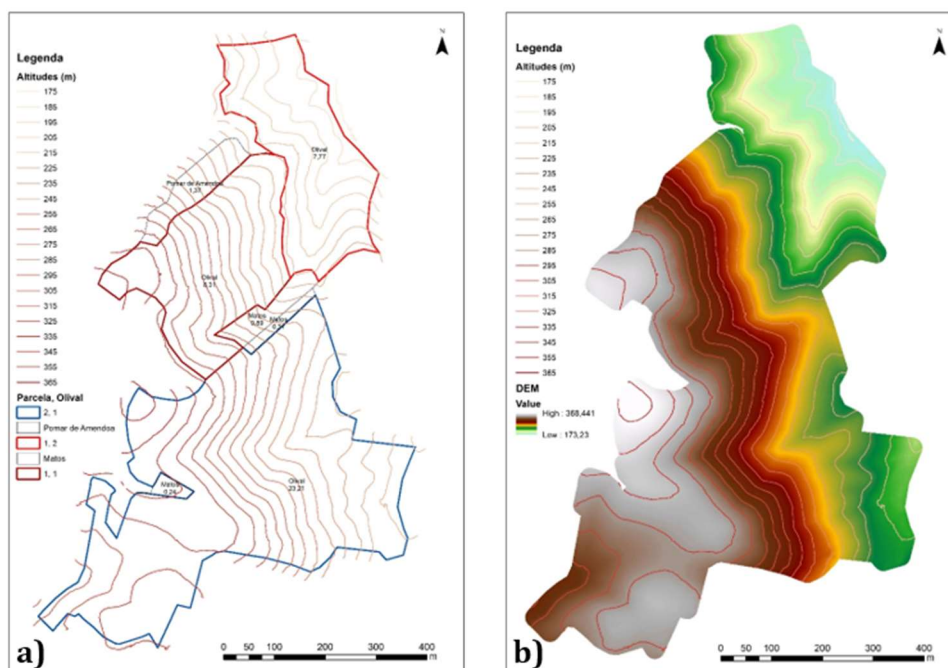


Figura 30 - Altitude das parcelas sobrevoadas. a) Representação em isolinhas; b) Representação em modelo digital de terreno (MDT) com sobreposição das isolinhas.

Na continuação do processamento de dados, e por se entender que poderia ter influência nos valores dos índices de vegetação obtidos, procedeu-se à análise dos olivais quanto ao declive, quanto à orientação da encosta e conseqüente exposição das oliveiras (Figura 31).

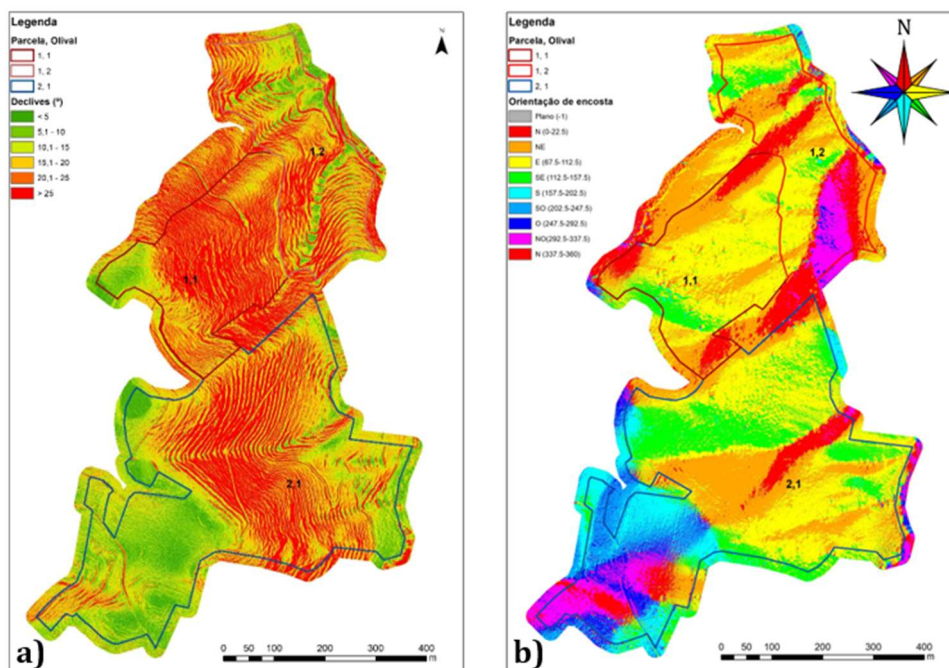


Figura 31 - Caracterização fisiográfica. a) Mapa dos declives; b) Mapa de orientação da encosta.

Após o processamento e a obtenção destes dados, e como referido no início deste subcapítulo, pretendeu-se analisar a relação da área de copa com a altura da árvore e os restantes parâmetros fisiográficos, bem como estes entre si, para o que se realizou uma matriz de correlação (Figura 32).

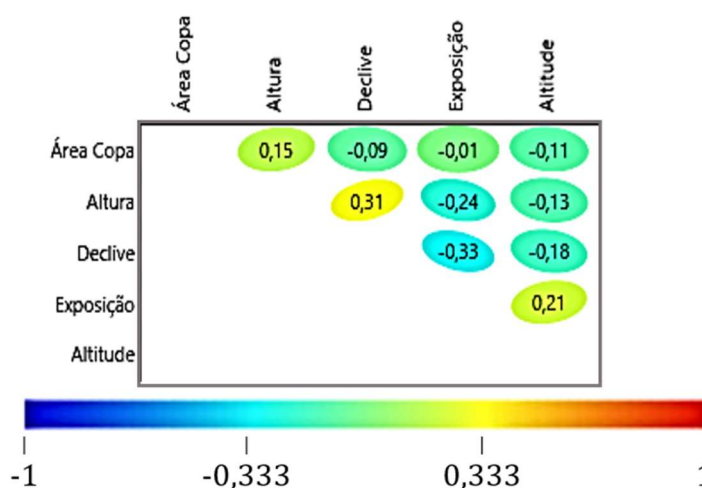


Figura 32 - Matriz de correlação da área de copa com a altura das árvores e os parâmetros fisiográficos Declive, Exposição e Altitude.

De acordo com os resultados, observa-se que não existe uma correlação significativa ($> 0,70$), positiva ou negativa, entre a área de copa e os restantes parâmetros fisiográficos (altura, declive, exposição, altitude), nem destes entre si.

4.2. Análise dos índices de vegetação

Os resultados dos índices de vegetação são apresentados nesta subsecção na forma de gráficos e mapas.

No Anexo 1, são apresentados os valores das médias de cada índice de vegetação (IV) usado, bem como os valores mínimo, máximo, e desvio-padrão, de cada voo e em cada parcela.

Na Figura 33, representam-se graficamente as médias dos IV estudados ao longo dos 5 voos, nas parcelas MH 1.1, MH1.2 e CAPR 2.1. Lembra-se que, a cada voo, corresponde uma data e uma fase vegetativa diferente: voos 1, 2, 3, 4, e 5, correspondem, respetivamente, aos voos realizados em abril (início do desenvolvimento vegetativo), junho (floração), agosto (endurecimento do caroço) e novembro de 2018 (maturação), e março de 2019 (repouso vegetativo).

Pela observação da Figura 33, atenta-se que, nas três parcelas, houve 3 formas de evolução dos IV.

Em primeiro lugar, o NDVI que, conjuntamente com o SR e o MSR, começam por diminuir entre o início do desenvolvimento vegetativo (voo 1) e a floração (voo 2), após o que aumentam gradualmente nos restantes voos, numa forma mais evidente entre a floração (voo 2) e a maturação (voo 4). Mantém o crescimento, mas numa forma menos intensa, entre a maturação (voo 4) e o repouso vegetativo (voo 5), abrangendo a fase desde a maturação até à entrada em repouso invernal.

O OSAVI, por sua vez, apresenta um crescimento constante ao longo dos 5 voos, mais evidente até ao endurecimento do caroço (voo 3) e mantendo-se a crescer, mas com menos intensidade, a partir daí.

O GREENNESS decresce desde o início do desenvolvimento vegetativo (voo 1) até à maturação (voo 4), aumentando a partir desta.

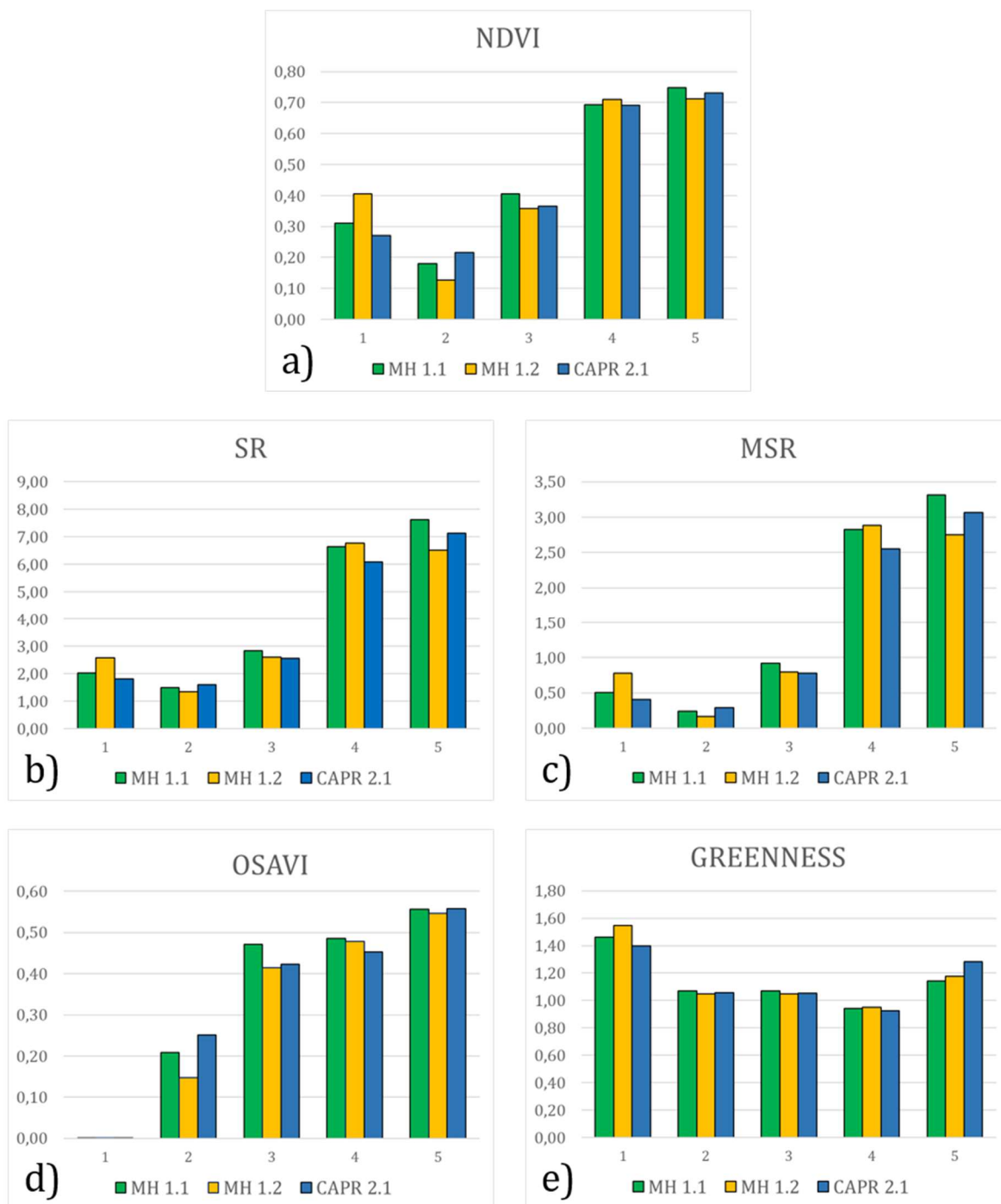


Figura 33 - Representação das médias dos IV estudados, ao longo dos 5 voos, nas parcelas MH 1.1, MH1.2 e CAPR 2.1: a) NDVI; b) SR; c) MSR; d) OSAVI; e) Greenness.

Da análise das Figuras 33, 34, 35, 36, 37, 38 e do Anexo 1, , observa-se o seguinte, em relação à evolução de cada um dos IV estudados:

4.2.1. NDVI

Em relação ao NDVI, foram obtidos os mapas apresentados na Figura 34 e no Anexo 2, ordenados por voo.

Nas Figuras 33 e 34, foi identificado um decréscimo de valores entre o início do desenvolvimento vegetativo (voo 1) e a floração (voo 2), seguido de um aumento gradual até ao último voo.

Esta diminuição do NDVI, na época de floração, pode ser explicada pelo facto da floração, de tão abundante, exigir elevadas quantidades dos recursos disponíveis na planta (nutrientes e água), competindo pela distribuição dos mesmos, e favorecendo a paragem do desenvolvimento vegetativo (crescimento e desenvolvimento de raminhos e folhas).

Outra explicação para este decréscimo poderá ser encontrada nas temperaturas baixas que se fizeram sentir na primavera anterior, especialmente em março (média de temperatura média do ar igual a 10,27°C, média de temperatura mínima do ar igual a 6,15°C, e média de temperatura máxima do ar igual a 14,39°C, ou seja, 1,27°C, 0,65°C e 2,61°C abaixo da normal de 1971-2000, respetivamente) e que poderão ter inibido, ou atrasado, o desenvolvimento vegetativo.

Aparentemente, a poda também poderá ser um fator distintivo: ausente nas parcelas MH 1.1 e MH 1.2, a poda das oliveiras da parcela CAPR 2.1 pode ter estimulado o desenvolvimento vegetativo. Assim, os recursos da planta estariam a ser preferencialmente distribuídos para o desenvolvimento vegetativo, e não para o desenvolvimento reprodutivo, apesar da redução da copa significar a redução de ramos e raminhos em desenvolvimento. Assinala-se, ainda, que, no voo 2, o NDVI da parcela CAPR 2.1 apresenta uma média superior às restantes parcelas, e uma homogeneidade de valores positivos (mesmo que baixos, assinalados a laranja e amarelo), contrastante com as parcelas MH 1.1 e MH 1.2, onde predominam valores negativos (vermelhos) e positivos muito baixos (laranjas) (Figura 34 b).

Também se observa que, no início do desenvolvimento vegetativo, na floração e no endurecimento do caroço (voos 1, 2 e 3), encontramos valores negativos de NDVI (Figura 34 a, b, c; Anexo 1), eventualmente também explicados pelas baixas temperaturas sentidas na primavera, e pelas altas temperaturas e stress hídrico de junho a agosto, que promovem a paragem de crescimento estival.

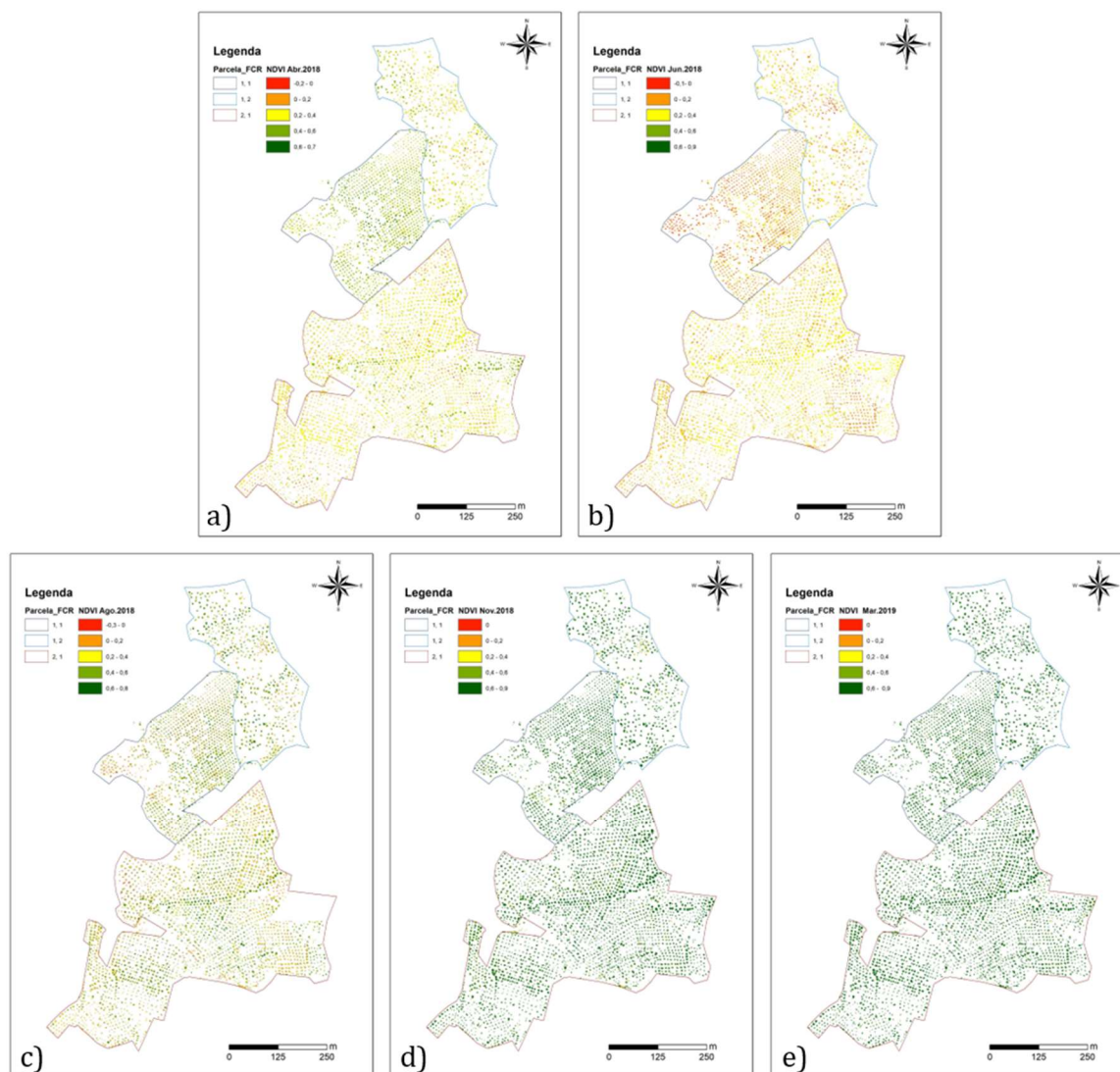


Figura 34 - Mapas de NDVI, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).

4.2.2. SR

A evolução do SR é semelhante à do NDVI, observando-se que houve um decréscimo de valores entre o voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo) e o voo 2 (floração) (Figura 33 b), seguido de um aumento gradual até ao último voo. Nas Figuras 35 (b, c, d, e), observa-se que, existem valores máximos (61,33; 11,31; 38,57 e 18,92) bastante superiores aos valores das médias apresentadas no Anexo 1 e na Figura 32 (voos 2, 3, 4 e 5). Apesar da diferença entre máximos nos voos 4 e 5, as suas médias não são muito diferentes. Nos voos 4 e 5, notam-se valores maiores nas árvores das encostas Norte, Nordeste e Este, e na linha de água que atravessa a parcela CAPR 2.1. Dado o outono quente, e o inverno quente e seco, as encostas menos expostas ao sol e mais frescas, bem como as linhas de água onde se concentra maior humidade, parecem ser mais favoráveis ao crescimento vegetativo, não obstante o frio promover o repouso invernal.

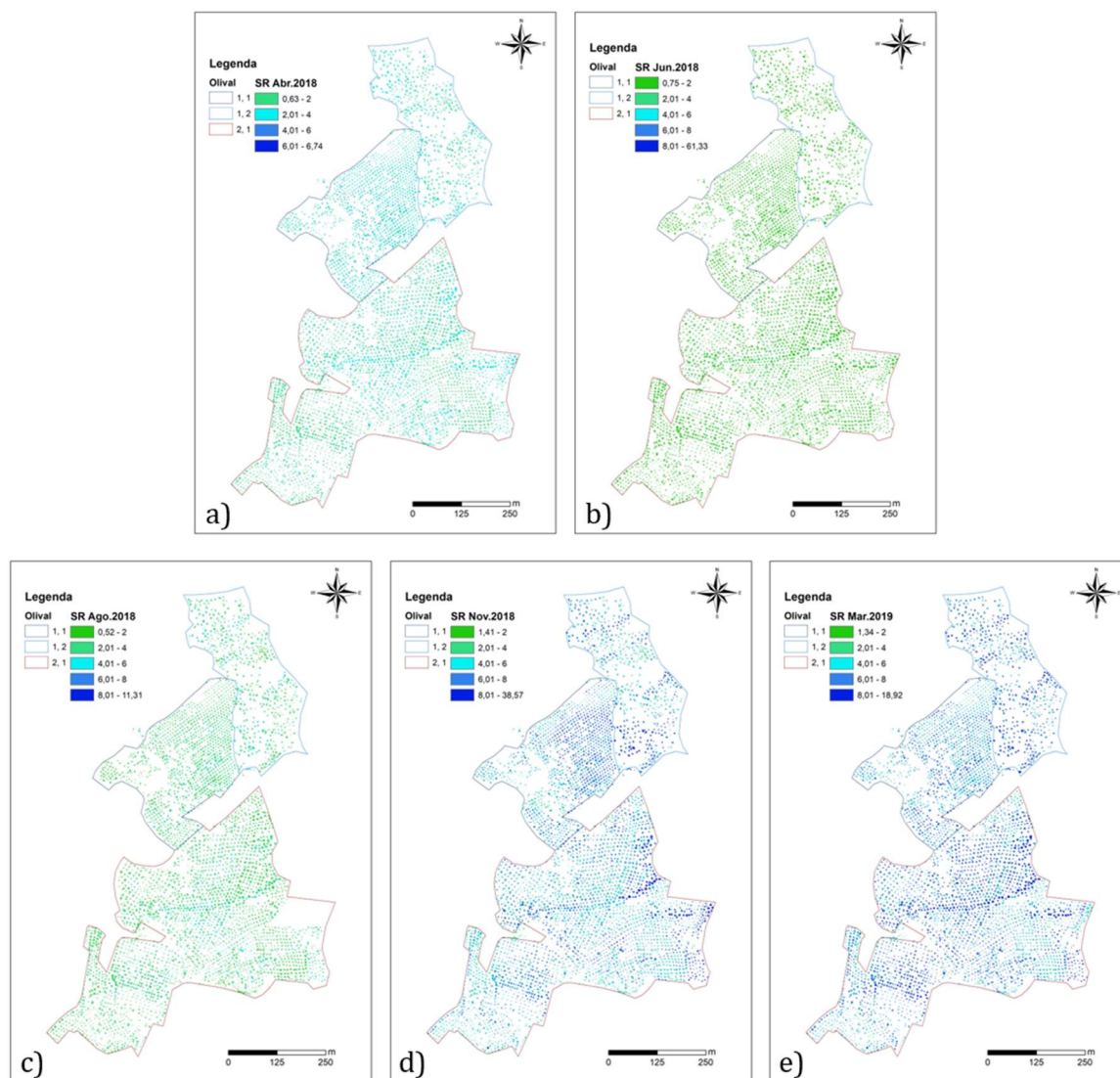


Figura 35 - Mapas de SR, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).

4.2.3. MSR

A evolução do MSR permite-nos observar que, apesar de terem valores diferentes, o progresso obtido é igual ao do SR, por voo e por parcela, e do NDVI, por voo. Lembrando que, tanto o SR como o MSR são baseados no NDVI, faz sentido que a evolução seja semelhante.

Na Figura 36 (b, c, d, e), e à semelhança do SR, observa-se que, apesar de existirem valores máximos (30,17; 5,16; 18,78 e 8,96) bastante superiores aos valores das médias apresentadas (Figura 33 e Anexo 1), as médias dos voos 4 e 5 não são muito diferentes entre si.

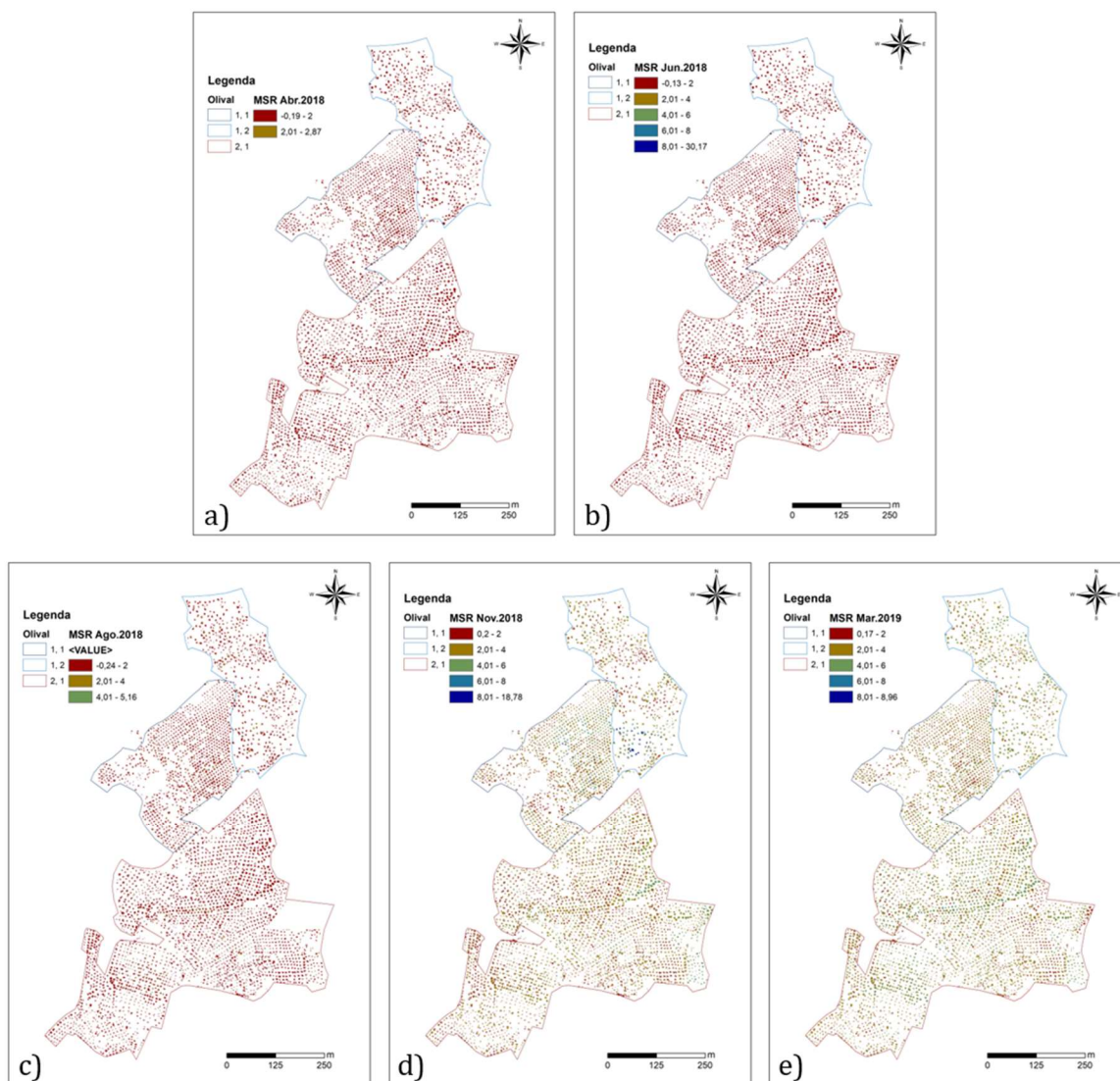


Figura 36 - Mapas de MSR, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).

4.2.4. OSAVI

Este índice apresenta um aumento constante dos seus valores ao longo do tempo, como se pode verificar na Figura 33 (d.) O crescimento deste IV é mais intenso até ao endurecimento do caroço, mantendo-se em crescimento, mas numa forma mais suave, entre o endurecimento do caroço (voo 3) e o repouso vegetativo (voo 5).

Relembrando que este índice se baseia no NDVI, introduzindo um valor padronizado (0,16) que diminui a refletância do solo e minimiza a forma como este afeta a avaliação da vegetação, porque idealmente deve ser usado em áreas com vegetação relativamente esparsa e em que a superfície do solo é visível através das copas, tal poderá justificar não se verificar uma evolução semelhante ao NDVI. No início do desenvolvimento vegetativo e da floração, o solo estava com mais cobertura vegetal

devido ao inverno ameno e à primavera chuvosa, e isto poderá ter influenciado os resultados deste IV. No outono e inverno seguintes, o solo estava menos coberto com flora adventícia, o que permitiu a aplicação mais adequada do cálculo deste índice de vegetação das árvores, ficando de acordo com a evolução do NDVI.

À semelhança do NDVI, apresenta valores negativos no início do desenvolvimento vegetativo, na floração e no endurecimento do caroço (voos 1, 2 e 3) (Figura 37).

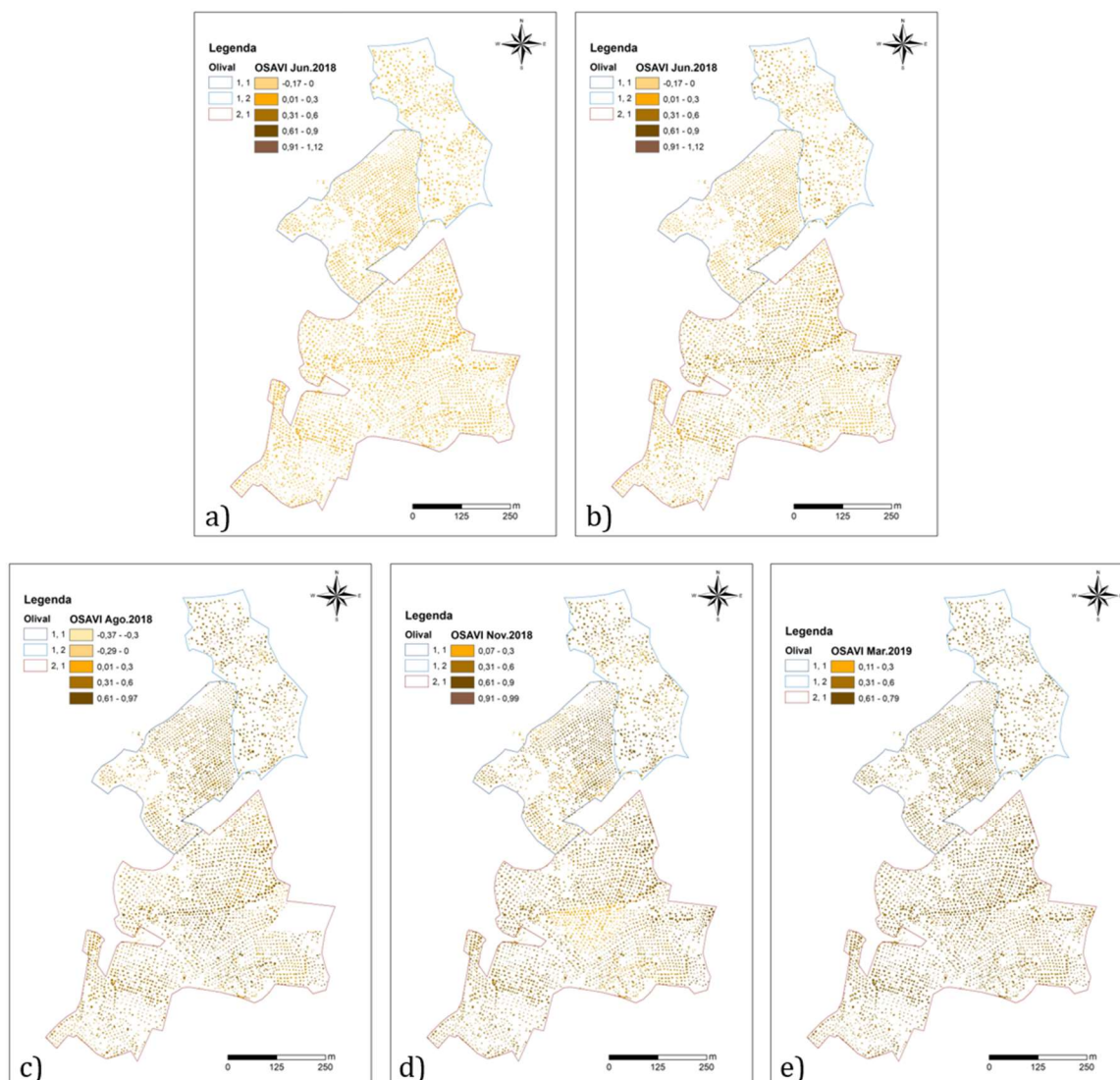


Figura 37 - Mapas de OSAVI, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).

4.2.5. Greenness

Observando a evolução do *Greenness* ao longo do tempo (Figuras 33 e 38), a sua diminuição no início do desenvolvimento vegetativo (quando deveria ser o inverso), e o seu aumento a partir da maturação (outono), sugere que este índice possa ser influenciado pelo aumento da presença de flora adventícia típica da época outono-inverno, e que não seja o mais adequado para este tipo de cultura, especialmente com o solo enrelvado naturalmente.

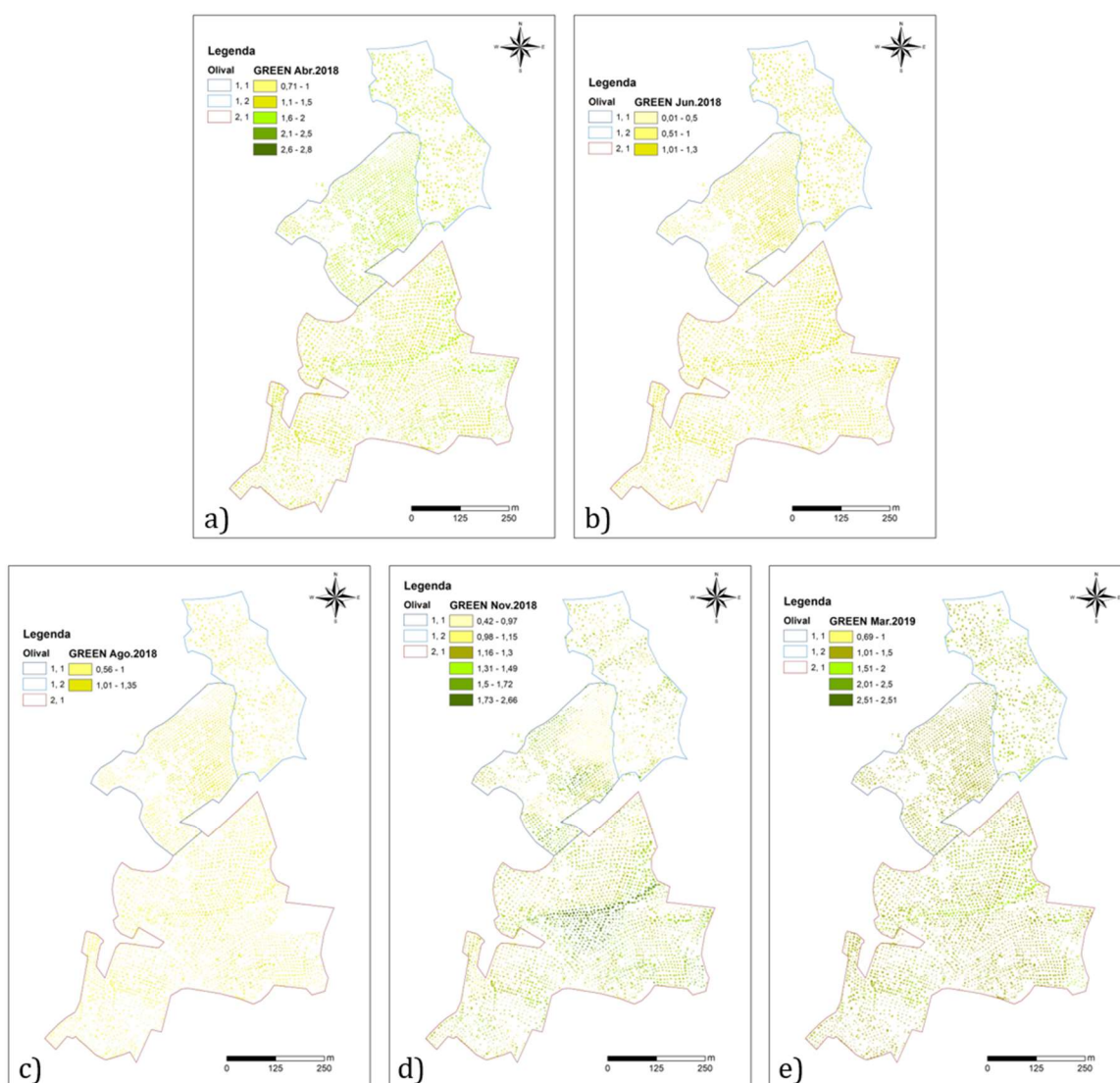


Figura 38 - Mapas de *Greenness*, por voo: a) voo 1 (início do desenvolvimento vegetativo); b) voo 2 (floração); c) voo 3 (endurecimento do caroço); d) voo 4 (maturação); e) voo 5 (repouso vegetativo).

O OSAVI, igualmente baseando-se no NDVI, apresenta uma correlação positiva significativa com o NDVI, o SR e o MSR em todos os voos, exceto no 4º voo (apesar da correlação também ser positiva).

Finalmente, o *Greenness*, que na sua expressão apenas tem a banda *Red* em comum com os restantes, apresenta uma correlação positiva significativa com o NDVI, o SR e o MSR, mas apenas nos 1º, 2º e 5º voos (época inverno/primavera). Na correlação entre o *Greenness* e o OSAVI, observa-se que existe uma correlação positiva significativa apenas no 1º e 2º voo, e apresenta uma correlação negativa, não significativa, no 4º voo.

Desta análise, podemos concluir que as correlações existentes estão de acordo com a evolução dos IV demonstrada na Figura 33, especialmente nos índices NDVI, SR e MSR.

4.4. Classificação dos solos

No anexo 8, é apresentado os resultados completos das análises de solo efetuadas na parcela CAPR 2.1.

Os valores obtidos através das análises de solo permitiram a distribuição das amostras por classes de fertilidade do solo, apresentadas no Quadro 11, juntamente com o resultado da textura do mesmo.

Quadro 11 - Resultado qualitativo da análise de solo de cada amostra, em relação à textura, ao pH, e à classe de fertilidade do solo, no que respeita aos teores em matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e boro.

Amostra	Textura	pH	Matéria orgânica	Fósforo P ₂ O ₅	Potássio K ₂ O	Cálcio Ca	Magnésio Mg	Boro B
1.1	Média	Ác.	B	MB	A	B	B	A
1.2	Média	Ác.	M	MB	A	B	B	A
1.3	Média	Ác.	M	MB	A	M	M	M
2.1	Média	P. Ác.	M	B	A	M	B	M
2.2	Média	P. Ác.	M	MB	MA	B	B	A
2.3	Média	Ác.	M	M	MA	M	M	A
3.1	Média	P. Ác.	M	B	MA	M	M	A
3.2	Média	P. Ác.	B	B	M	M	M	M
3.3	Média	P. Ác.	M	A	A	M	M	M
4.1	Média	P. Ác.	M	MB.	A	M	B	M
4.2	Média	P. Ác.	M	MB	A	M	M	MA
4.3	Média	P. Ác.	B	B	A	M	M	A
5.1	Média	P. Ác.	B	MB	A	M	M	B
5.2	Média	N	M	B	A	M	M	M
5.3	Média	P. Ác.	B	B	A	M	M	M

Legenda: Á. – Ácido; P. Ác. – Pouco Ácido; MB – Muito Baixo, B – Baixo; M – Médio; A – Alto; MA – Muito Alto.

Estes resultados vêm de encontro ao que é referido na literatura: estes solos são francos, franco-limosos ou franco-argilo-arenosos, ácidos ou pouco ácidos, possuem teores baixos a médios de matéria orgânica, teores muito baixos de fósforo extraível e teores médios a muito altos de potássio extraível.

Optou-se por interpolar os dados das análises de solo (pH, matéria orgânica e nutrientes), usando a Distância Inversa Ponderada (IDW), como referido, e resultando nos mapas representados na Figura 40.

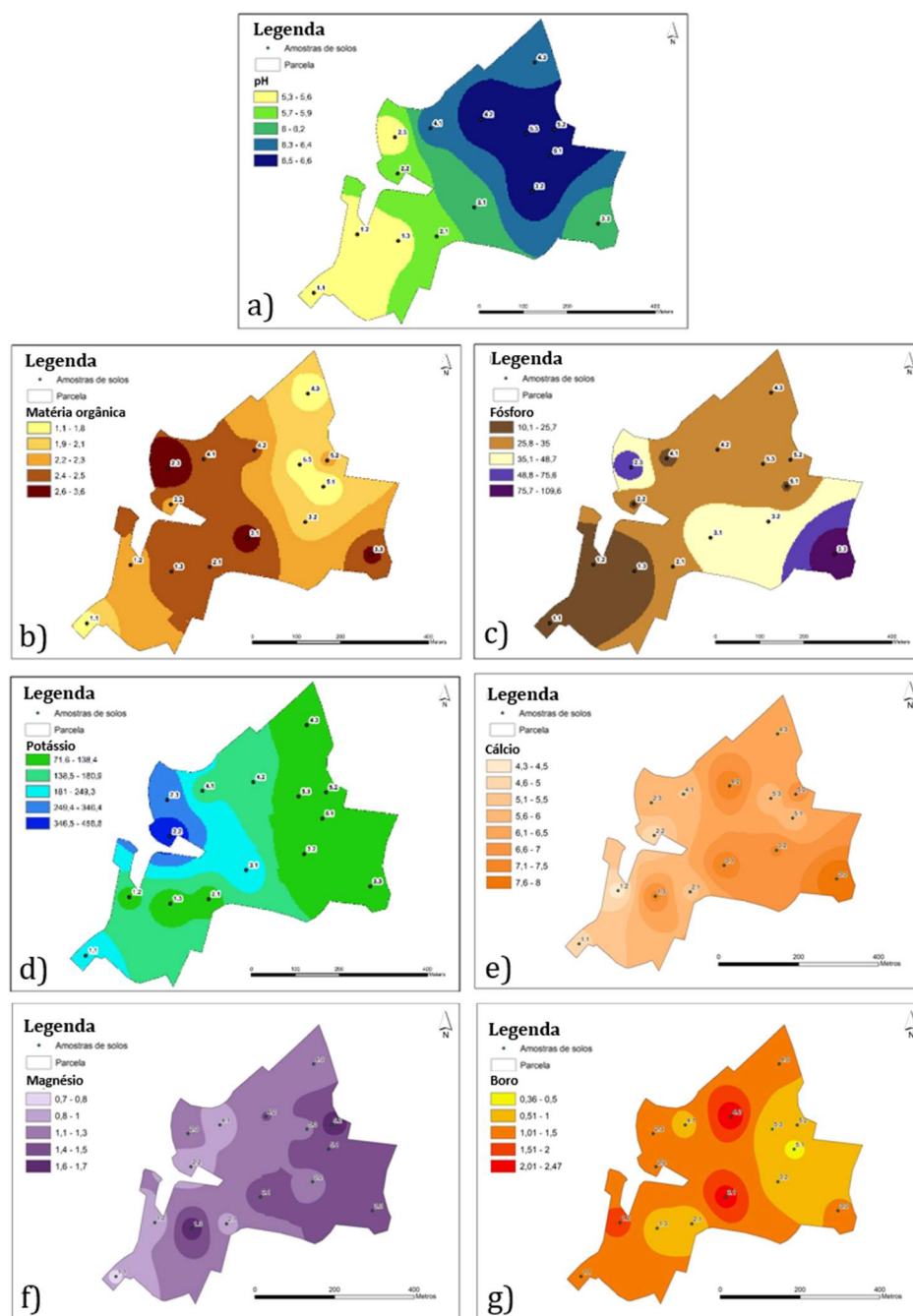


Figura 40 - Classificação do solo: a) pH (H₂O); b) Teor em matéria orgânica (%); c) Teor em fósforo (P₂O₅) (mg.kg⁻¹); d) Teor em potássio (k₂O) (mg.kg⁻¹), e) Cálcio de troca (cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹); f) Magnésio de troca (cmol⁽⁺⁾.kg⁻¹), g) Boro extraível (mg.kg⁻¹).

Optou-se por fazer uma matriz de correlação com os dados fisiográficos, os IV e, das análises de solo, o pH, a matéria orgânica e os macronutrientes principais (fósforo e potássio). Utilizando a matriz de correlação adaptada representada na figura 41, (a matriz original encontra-se no Anexo 9), observamos que o pH do solo se correlaciona negativa e significativamente com a altitude e, negativa, mas não significativamente, com a exposição, os teores de matéria orgânica e a disponibilidade de potássio.

Por seu lado, a matéria orgânica, cujos teores apresentam resultados baixos e médios (Quadro 11), apesar de não se correlacionar significativamente com o declive e a altitude, tem uma correlação positiva relativamente forte. Ou seja, quanto maior o declive e a altitude, maior o teor em matéria orgânica. Tal contraria os fenómenos de arrastamento da matéria orgânica pelas chuvas, mas justifica-se pelas medidas de combate à erosão praticadas nesta parcela, nomeadamente a existência de socacos com muros de suporte e vegetação permanente nos taludes e bermas (rosmaninho, giestas, entre outros), e a utilização do escarificador ao longo das curvas de nível para combater as infestantes, em vez de se utilizarem alfaia mais prejudiciais e de forma perpendicular às curvas de nível, que favorecem a erosão do solo.

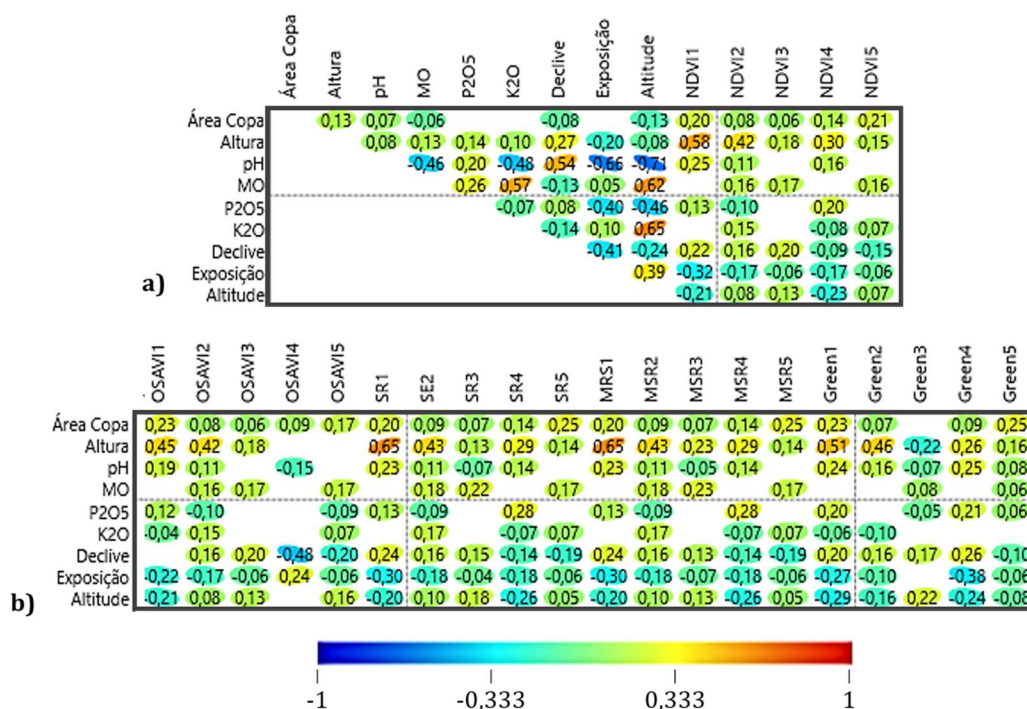


Figura 41 - Matriz de correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e os índices vegetativos, na parcela CAPR 2.1. a) Correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e o NDVI; b) Correlação entre os parâmetros fisiográficos, as análises de solo e os índices OSAVI, SR, MSR e Greenness.

Para finalizar, observa-se os índices estudados não apresentam uma correlação significativa com os parâmetros fisiográficos, nem com o pH, ou os teores em matéria orgânica, fósforo e potássio.

5. Conclusões

O processamento dos dados geoespaciais no *software* “Pix4D for Desktop” e no ArcGIS permitiu adquirir e avaliar diferentes índices de vegetação, os quais foram relacionados com os dados provenientes dos registos nos cadernos de campo do produtor, com parâmetros fisiográficos, com características das oliveiras, e com os resultados de amostras de solo, estas tendo sido retiradas de uma zona de amostragem selecionada em virtude da sua exposição, altitude e declive.

Este trabalho permitiu confirmar a correlação positiva entre o NDVI, que é o índice vegetativo mais usado em diversas culturas, o OSAVI, o SR e o MSR, porque utilizam as mesmas bandas, não obstante ter sido mais significativa a correlação do NDVI com o SR e o MSR. Os melhores resultados foram apresentados pelo NDVI, o SR e o MSR, seguidamente pelo OSAVI. O índice *Greenness* não teve uma boa aplicação nestas parcelas.

Não se encontraram correlações significativas entre os IV e os parâmetros fisiográficos, nem com as características das oliveiras (área de copa ou altura da árvore), nem com o estado nutricional dos solos.

No entanto, e de acordo com a literatura, foi evidenciada a correlação negativa (não significativa, mas bastante alta) entre o pH e os teores de matéria orgânica e potássio. Também se verificou uma correlação negativa entre o pH e a exposição, e entre o pH e a altitude, o que tenderá a ser justificado pela erosão dos solos de maior altitude e expostos a Norte e Nordeste.

Os resultados permitem, ainda, concluir que as oliveiras localizadas nas encostas viradas a Norte, apresentam, no geral, menor área de copa e menor vigor vegetativo, especialmente onde exista uma menor disponibilidade de água.

As zonas onde se verificou, através do MDT, a presença de linhas de água ou micro talvegues, apresentam uma maior concentração de vegetação do solo e, no geral, oliveiras com copas maiores. Tal sugere a existência de uma maior disponibilidade de água, essencial ao bom desenvolvimento das oliveiras, especialmente as de sequeiro, pois estão condicionadas à precipitação, à capacidade de retenção de água do solo, e à competição por parte de outras plantas.

A informação obtida através dos índices de vegetação, em cada fase vegetativa do olival, revela-se um contributo importante para melhorar a gestão olivícola, assegurando as vantagens da utilização das TIG, mesmo em olivais tradicionais de montanha. A utilização das TIG apresenta vantagens, tais como: possibilidade de observação de todas as copas de oliveira no mesmo momento, deteção de doenças, pragas ou carências nutricionais e hídricas, obtenção de dados constantes sobre as condicionantes da cultura, cálculo de declives, exposição, pontos de acumulação de água e de vegetação, entre outras. A integração destas informações com as obtidas no campo (amostras de frutos, folhas, solos, observação visual de pragas, doenças e

auxiliares, registos climáticos, entre outros), e às informações das práticas culturais, permite o registo e a criação de uma base de dados geográfica fiável e temporalmente correta, e contribuir para a fundamentação técnico-científica das explicações sobre a variabilidade quantitativa e qualitativa na produção, e na qualidade do azeite resultante.

As principais limitações à utilização mais regular da Detecção Remota em olivais de montanha portugueses prendem-se com a dimensão das parcelas, e a multiplicidade de diferentes produtores, que, no geral, não investirão na olivicultura de precisão por questões económicas e/ou de falta de conhecimento. Outra das limitações é a falta de técnicos assistentes com formação específica na leitura e análise destes dados, para melhor conseguirem transmitir ao olivicultor todas as informações necessárias à boa gestão olivícola. Também a própria orografia dos olivais de montanha apresenta condicionantes à utilização de VANT de asa fixa, necessários para cobrir distâncias maiores que os VANT multi-rotor. Juntamente com a orografia, os ventos dominantes em determinados períodos do ano podem ser grandes condicionantes à utilização segura dos VANT.

Este trabalho pode ter continuidade com a avaliação de outros IV, para as parcelas estudadas. Também é um contributo importante para o estudo das restantes quatro zonas sobrevoadas no projeto “Promoção e Valorização de Azeites de Montanha”, com características olivícolas e fisiográficas diferentes: Meda (2 zonas), Pinhel, e Belmonte.

No futuro, seria interessante conseguir correlacionar as variedades de oliveiras presentes em olivais de montanha monovarietais ou com poucas variedades, onde fosse possível assinalar as árvores de cada variedade, com as (possíveis) diferenças de vigor vegetativo, tanto no intuito de compreender os fatores que podem condicionar a produção quantitativa de cada variedade, mas também para compreender quais os fatores que poderão influenciar a quantidade de determinados ácidos gordos, polifenóis, vitaminas, entre outros, presentes no azeite e, por conseguinte, influenciar as suas características organoléticas ou vantagens para a saúde.

Referências bibliográficas

Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R. & Sousa, J. J. (2017). Hyperspectral imaging: A review on UAV-based sensors, data processing and applications for agriculture and forestry. *Remote sensing*, 9(11), 1110.

Bendig, J. V. (2015). "Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for Multi-Temporal Crop Surface Modelling. A New Method for Plant Height and Biomass Estimation Based on RGB-Imaging". Cologne: Universität zu Köln. Retrieved from: <http://kups.ub.uni-koeln.de/6018/>.

Berra, E., Gaulton, R. & Barr, S. (2017) "Commercial Off-the-Shelf Digital Cameras on Unmanned Aerial Vehicles for Multitemporal Monitoring of Vegetation Reflectance and NDVI," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 9, pp. 4878-4886, Sept. 2017. doi: 10.1109/TGRS.2017.2655365.

Calderón, R., Navas-Cortés, J. A., Lucena, C. & Zarco-Tejada, P. J. (2013). "High-resolution Airborne Hyperspectral and Thermal Imagery for Early Detection of Verticillium Wilt of Olive Using Fluorescence, Temperature and Narrow-Band Spectral Indices". *Remote Sensing of Environment* 139: 231–245. doi:10.1016/j.rse.2013.07.031.

Calderón, R., Navas-Cortés, J. A. & Zarco-Tejada, P. J. (2015). "Early Detection and Quantification of Verticillium Wilt in Olive Using Hyperspectral and Thermal Imagery over Large Areas." *Remote Sensing* 7 (5), 5584–5610. doi:10.3390/rs70505584.

Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M. & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047.

Cavaco, M. & Marcelo, M. E. (2010). *Produção integrada do olival*. Direcção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural - 2ª ed. Lisboa. Portugal ISBN 978-972-8649-96-8

Chen, J. (1996). "Evaluation of vegetation indices and modified simple ratio for boreal applications". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 22, 229–242.

Coelho, J., Silva, L., Pinheiro, A., Tristany, M. & Neto, M. (2009). "Agricultura de precisão". in J. P. C. Coelho & J. R. M. D. Silva (Eds.). *Agricultura de Precisão* (pp. 2-33). Inovação e Tecnologia na Formação Agrícola. Associação dos Jovens Agricultores de Portugal.

http://agrinov.ajap.pt/images/manuais/Manual_Agricultura_de_Precisao.pdf

Cordeiro, A., Santos, M.L.C. & Morais, N.C. (2014a). As Variedades de Oliveira. Pp:174-232. In *O Grande Livro da Oliveira e do Azeite*. Editor: J. Böhm. Dinalivro.

Cordeiro, A.M., Inês, C. & Morais, N. (2014b). *Boas Práticas no Olival e no Lagar. Principais Cultivares de Oliveira Existentes em Portugal*. 1ª Edição. INIAV, I.P.

D'Amico, A., Natale, C., Lo Castro, F., Iarossi, S., Catini, A. & Martinelli, E. (2008). "Volatile Compounds Detection by IR Acousto-Optic Detectors". DOI:10.1007/978-1-4020-9253-4_2.

Falcão, J. M. M. A. C. (2019). Utilização de imagens de satélite para a otimização produtiva do olival superintensivo (cv. Arbosana). Lisboa: ISA, 96 p.

Fernandez, P., Roque, N. & Lourenço, C. (2019a). Aplicação das Tecnologias de Informação Geográfica na Monitorização e Gestão do Olival. p. 42-52. *in* Desenvolvimento e Inovação de um Produto Endógeno – o Caso dos Azeites de Montanha. Editores: Fátima Peres, Teresa Paiva e Daniel Raposo. ISBN: 978-989-8196-91-0.

Fernandez, P., Roque, N. & Lourenço, C. (2019b). Gestão e monitorização do olival suportados na caracterização da variabilidade espacial do olival. ISBN: 978-989-8196-82-8.

Geometral Agroconsultores (2004). Elaboração da carta de solos e de aptidão das terras da Zona Interior Centro. Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica, Ministério da Agricultura, Pescas e Florestas, Lisboa.

Hardin, P. J. & Jensen, R. R. (2011). Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles in Environmental Remote Sensing: Challenges and Opportunities. *GIScience & Remote Sensing*, 48, 99-111. DOI: 10.2747/1548-1603.48.1.99

Hammer, Ø., Harper, D. A. T. & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp.

Instituto Nacional de Estatística (INE) [Consult. 04 julho 2022]. Disponível em <http://www.ine.pt>. Quadro extraído em 04 de Julho de 2022 (23:55:51)

Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), abril de 2018. "Boletim Climatológico Sazonal – Primavera 2018". [ISSN 2183-1084](#)

Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), setembro de 2018. "Boletim Climatológico Sazonal – Verão 2018". [ISSN 2183-1084](#)

Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), dezembro de 2018. "Boletim Climatológico Sazonal – Outono 2018". [ISSN 2183-1084](#)

Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), março de 2019. "Boletim Climatológico Sazonal – Inverno 2018/2019". [ISSN 2183-1084](#)

Instituto Português do Mar e Atmosfera (IPMA), dezembro de 2018. "Boletim Climatológico Sazonal – Março 2019". [ISSN 2183-1084](#)

Jesus, A. M. G. T. (2013). "Olivicultura de precisão. Avaliação da variabilidade espacial da produtividade e qualidade da azeitona e azeite num olival semi-intensivo". Tese de Mestrado. ISA. Lisboa.

- Jordan, C. F. (1969). "Derivation of Leaf-Area Index from Quality of Light on the Forest Floor." *Ecology*, 50 (4), 663–666. doi:10.2307/1936256.
- Lira, C., Amorim, A., Silva, A. & Taborda, R. (2016). "Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite." *Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos (DGRM)*. Lisboa, Portugal. https://www.sophia-mar.pt/uploads/GUIA_5_SIG_Analise_de_dados_satelite.pdf
- Lucas, R. & Davis, J.F. (1961). "Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients". *Soil Science*, 92, 177–182.
- Maes, W.H. & Steppe, K. (2019). "Perspectives for Remote Sensing with Unmanned Aerial Vehicles in Precision Agriculture". *Trends in Plant Science*, 24, 152-164
- Marinello, F., Pezzuolo, A., Chiumenti, A. & Sartori, L. (2016). "Technical analysis of unmanned aerial vehicles (drones) for agricultural applications". *in* Conference: Engineering for Rural Development. Jelgava, LATVIA. Volume: 15.
- Marques, P., Pádua, L., Reis, M., Fernandes-Silva, A. & Sousa, J. (2018). "Extração automática de parâmetros de olival através de dados de alta resolução adquiridos por veículos aéreos não tripulados". IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. DOI:10.13140/RG.2.2.33996.26242
- Marques, P., Pádua, L., Brito, T., Sousa, J. & Fernandes-Silva, A. (2020). "Monitoring of Olive Trees Temperatures under Different Irrigation Strategies by UAV Thermal Infrared Imagery". 4550-4553. 10.1109/IGARSS39084.2020.9323624.
- Marques, P., Canas, L. & Fernandes-Silva, A. (2021). "Leaf reflectance response to deficit irrigation in olive trees". *Acta Hort.* 1327,625-634. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1327.82 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1327.82>
- Matese, A., Toscano, P., Di Gennaro, S., Genesio, L., Vaccari, F., Primicerio, J., Belli, C., Zaldei, A., Bianconi, R. & Gioli, B. (2015). "Intercomparison of UAV, Aircraft and Satellite Remote Sensing Platforms for Precision Viticulture". *Remote Sensing*, 7, 2971-2990. <https://doi.org/10.3390/rs70302971>
- Mirhadi, A. J. (2010). 25 - Overview of Radiation Therapy Terms and Procedures in the Management of Thoracic Malignancies. Editor(s): Michael I. Lewis, Robert J. McKenna, Jeremy A. Falk, George E. Chaux, Medical Management of the Thoracic Surgery Patient, W.B. Saunders, Pages 252-262, ISBN 9781416039938. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4160-3993-8.00025-8>. [Consult. 15 junho 2022]. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/electromagnetic-radiation>
- Mogili, U. M. R. & Deepak, B. B. V. L. (2018). "Review on Application of Drone Systems in Precision Agriculture". *Procedia Computer Science*, 133, 502-509
- Nebiker, S., Annen, A., Scherrer, M. & Oesch, D. (2008). "A Light-Weight Multispectral Sensor for Micro UAV—Opportunities for Very High Resolution Airborne Remote Sensing." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* 37(B1): 1193–1199.

Nex, F. & Remondino, F. (2014). "UAV for 3D Mapping Applications: A Review." *Applied Geomatics* 6 (1), 1–15. doi:10.1007/s12518-013-0120-x.

Nijland, W., De Jong, R., De Jong, S. M., Wulder, M. A., Bater, C. W. & Coops, N. C. (2014). "Monitoring plant condition and phenology using infrared sensitive consumer grade digital cameras". *Agricultural and Forest Meteorology*, 184, 98-106.

Noguera, M., Aquino, A., Ponce Real, J., Cordeiro, A., Silvestre, J., Arias-Calderon, R., Marcelo, M., Jordão, P. & Andujar Marquez, J. (2021). "Nutritional status assessment of olive crops by means of the analysis and modelling of multispectral images taken with UAVs". *Biosystems Engineering*, 211, 1-18. 10.1016/j.biosystemseng.2021.08.035.

Pádua, L., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Sousa, J. J., Peres, E. & Morais, R. (2017). "UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications". *International Journal of Remote Sensing*, 38, 2349-2391.

Parrot (2022). [Consult. 16 junho 2022]. Disponível em <https://www.parrot.com>

Pereira, C. D. F. A. (2017). Caracterização de fenologia das 5 cultivares de oliveiras tradicionais portuguesas. Dissertação de Mestrado. Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas.

Peres, F., Gouveia, C., Salgueiro, C., Anjos, O. & Lourenço, C. (2019). Características organolépticas e nutricionais dos Azeites de Montanha. p. 56-67. *in* Desenvolvimento e Inovação de um Produto Endógeno – o Caso dos Azeites de Montanha. Editores: Fátima Peres, Teresa Paiva e Daniel Raposo. ISBN: 978-989-8196-91-0.

Ponce Real, J., Aquino, A., Tejada-Guzmán, D., Al-Hadithi, B. & Andujar Marquez, J. (2022). "A Methodology for the Automated Delineation of Crop Tree Crowns from UAV-Based Aerial Imagery by Means of Morphological Image Analysis". *Agronomy*, 12, 29. 10.3390/agronomy12010043.

Regulamento n.º 1093/2016, de 14 de dezembro, de Autoridade Nacional da Aviação Civil (ANAC). Diário da República n.º 238/2016, Série II de 2016-12-14, páginas 36613 - 36622

Rondeaux, G., Steven, M. & Baret, F. (1996). "Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices." *Remote Sensing of Environment*, 55 (2), 95–107. doi:10.1016/0034-4257(95)00186-7.

Roque, N., Lourenço, C. & Fernandez, P. (2021a). "Aplicação da deteção remota na monitorização de olivais tradicionais de montanha". IX Simpósio Nacional de Olivicultura. Oeiras, Portugal.

Roque, N., Lourenço, C. & Fernandez, P. (2021b). "Remote Sensing: Assessing the differences between NDVI obtained in spring and autumn, in a mountain olive grove". 9º Encontro IOBC-WPRS: Proteção Integrada do Olival. Lisboa, Portugal.

Rougean, J. -L., & Breon, F. M. (1995). "Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements". *Remote Sensing of Environment*, 51, 375–384.

Rouse, J. W. JR, Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering, D. W. (1974). "Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS." NASA Special Publication 351: 309

Sanseechan, P., Saengprachathanarug, K., Posom, J., Wongpichet, S., Chea, C., & Wongphati, M. (2019). "Use of vegetation indices in monitoring sugarcane white leaf disease symptoms in sugarcane field using multispectral UAV aerial imagery". *in IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 301, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

Santos, A. (2019). "Monitorização olivícola com veículos aéreos não tripulados e sensores multiespectrais". *in Métodos e Técnicas Inovadoras Aplicadas ao Processo Produtivo*. ISBN: 978-989-8196-87-3

senseFly (2022a). [Consult. 16 junho 2022]. Disponível em <https://www.sensefly.com>

senseFly (2022b). [Consult. 16 junho 2022]. Disponível em <https://www.sensefly.com/pt/camera/parrot-sequoia/>

Short, N. M. SR (2009). "INTRODUCTION: Theoretical and Technical Perspectives of Remote Sensing; Special Applications" [Consult. 15 junho 2022]. Tutorial http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_1.html in https://web.archive.org/web/20091026022745/http://rst.gsfc.nasa.gov/Intro/Part2_1.html

Turner, D., Lucieer, A. & Watson, C. (2012). "An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds." *Remote Sensing*, 4 (12), 1392–1410. Doi:10.3390/rs4051392.

Veiga, C & Vieira, F. (2019). "Nutrição em olival". *in Métodos e Técnicas Inovadoras Aplicadas ao Processo Produtivo*. ISBN: 978-989-8196-87-3

ANEXOS

Anexo A – Mínimo, máximo, média e desvio-padrão (σ), de cada IV, por parcela e por voo.

Anexo B – Mapas de NDVI.

Anexo C – Mapas de OSAVI.

Anexo D – Mapas de SR.

Anexo E – Mapas de MSR.

Anexo F – Mapas de *Greenness*.

Anexo G – Matriz de correlação dos IV e fatores fisiográficos, das 3 parcelas em estudo.

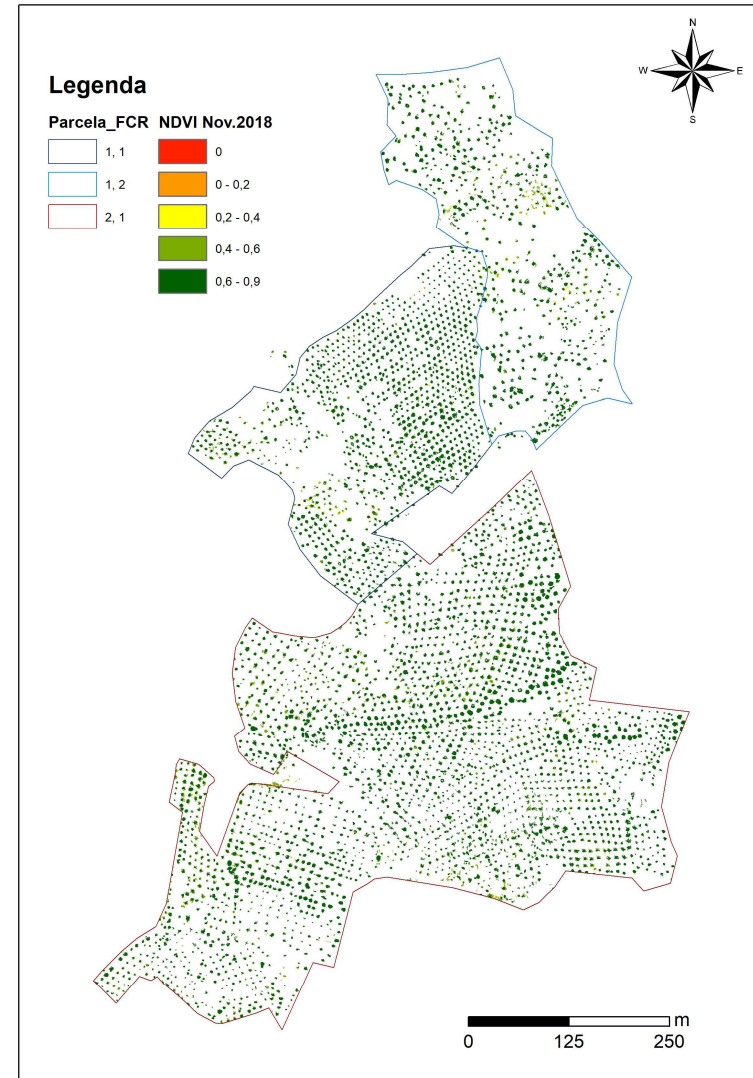
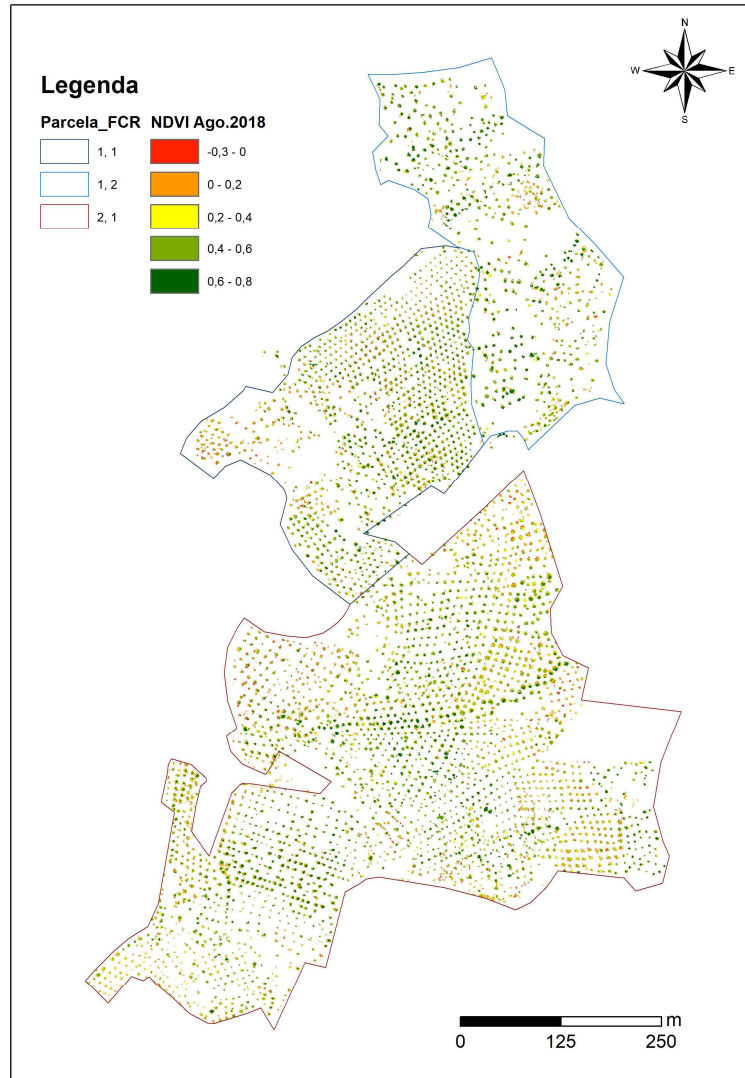
Anexo H – Resultado das análises de solo.

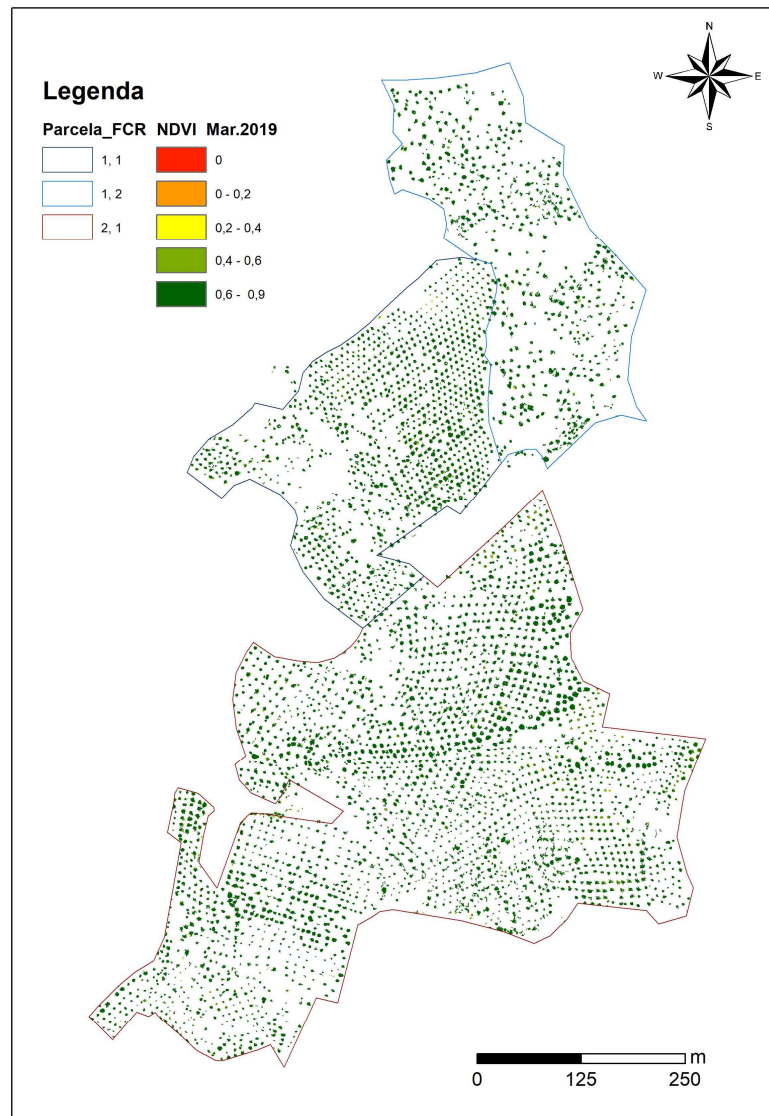
Anexo I – Matriz de correlação dos IV, fatores fisiográficos, e análises de solo da parcela CAPR 2.2 em estudo.

Anexo A - Mínimo, máximo, média e desvio-padrão (σ), de cada IV, por parcela e por voo.

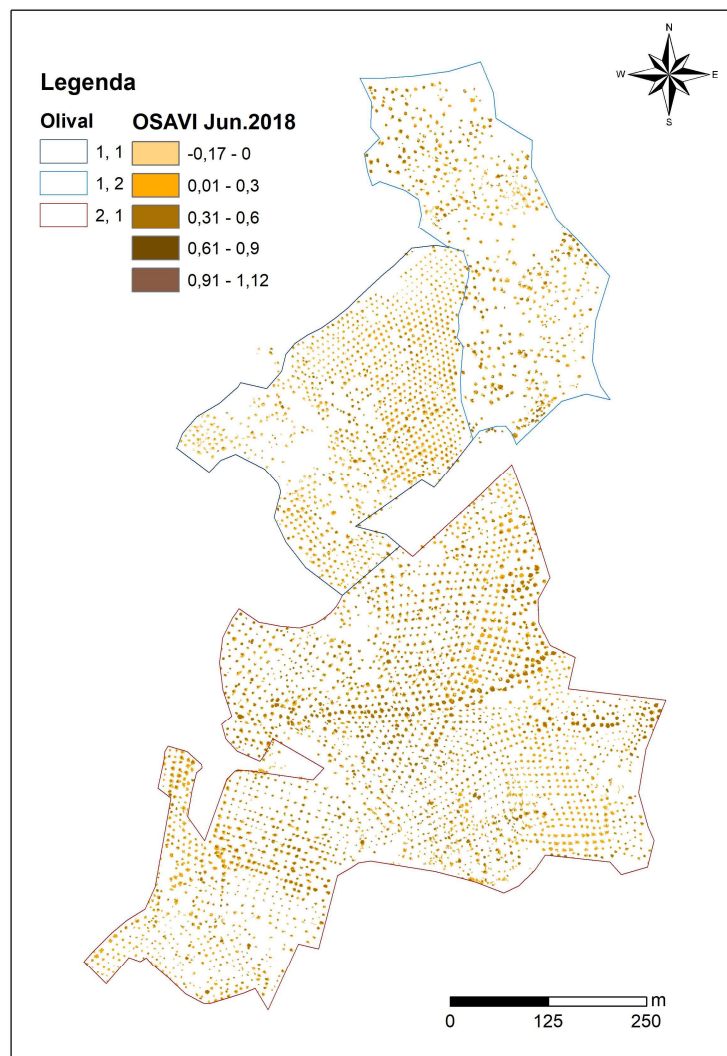
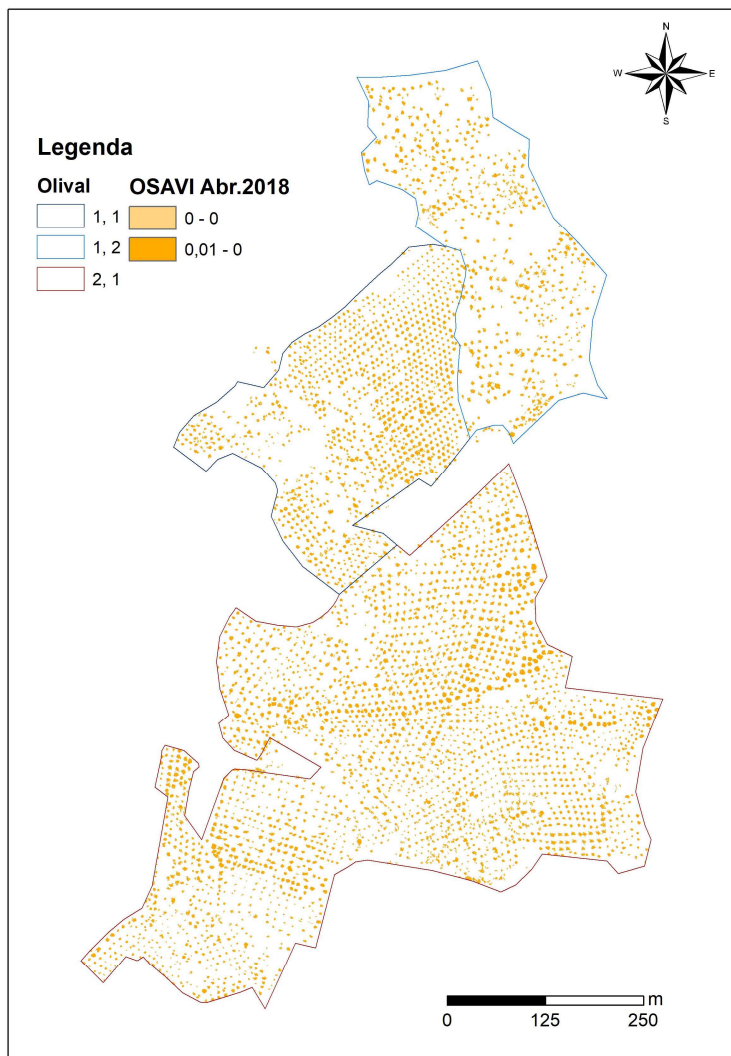
Parcela IV e voo	MH 1.1				MH 1.2				CAPR 2.1			
	Mín.	Máx.	Média	σ	Mín.	Máx.	Média	σ	Mín.	Máx.	Média	σ
NDVI 1	-0,131	0,687	0,312	0,080	-0,177	0,742	0,405	0,111	-0,231	0,692	0,270	0,063
NDVI 2	-0,117	0,670	0,179	0,077	-0,145	0,663	0,128	0,092	-0,117	0,968	0,216	0,063
NDVI 3	-0,197	0,821	0,406	0,138	-0,315	0,838	0,357	0,188	-0,248	0,834	0,365	0,157
NDVI 4	0,168	0,949	0,693	0,061	0,188	0,927	0,711	0,060	0,190	0,904	0,692	0,054
NDVI 5	0,309	0,886	0,749	0,047	0,241	0,887	0,712	0,060	0,145	0,900	0,732	0,049
OSAVI 1	-0,001	0,003	0,001	0,000	-0,001	0,003	0,001	0,000	-0,001	0,003	0,001	0,000
OSAVI 2	-0,135	0,777	0,208	0,089	-0,168	0,769	0,148	0,107	-0,135	1,123	0,250	0,074
OSAVI 3	-0,229	0,952	0,471	0,160	-0,366	0,972	0,415	0,218	-0,288	0,967	0,423	0,182
OSAVI 4	0,078	0,988	0,485	0,087	0,065	0,946	0,478	0,096	0,090	0,818	0,453	0,070
OSAVI 5	0,159	0,767	0,556	0,054	0,172	0,773	0,547	0,058	0,112	0,791	0,558	0,056
SR 1	0,768	5,386	2,014	0,370	0,699	6,737	2,566	0,696	0,625	5,487	1,813	0,252
SR 2	0,791	5,057	1,488	0,226	0,747	4,929	1,340	0,256	0,791	61,333	1,589	0,208
SR 3	0,000	10,170	2,830	0,891	0,000	11,311	2,588	1,123	0,602	11,043	2,564	0,934
SR 4	1,405	38,568	6,646	1,517	1,464	26,392	6,768	1,564	1,470	19,812	6,100	1,197
SR 5	1,895	16,536	7,625	1,445	1,635	16,707	6,509	1,479	1,340	18,922	7,141	1,405
MRS 1	-0,116	2,193	0,507	0,185	-0,151	2,869	0,783	0,348	0,187	2,243	0,406	0,126
MRS 2	-0,104	2,029	0,244	0,113	-0,126	1,965	0,170	0,128	0,104	30,166	0,295	0,104
MRS 3	-0,165	4,585	0,924	0,446	-0,240	5,155	0,800	0,562	0,199	5,021	0,782	0,467
MRS 4	0,203	18,784	2,823	0,759	0,232	12,696	2,884	0,782	0,235	9,406	2,550	0,598
MRS 5	0,447	7,768	3,313	0,723	0,317	7,854	2,755	0,739	0,170	8,961	3,070	0,702
Greenness 1	1,001	2,475	1,462	0,112	0,715	2,778	1,549	0,167	0,907	2,511	1,397	0,094
Greenness 2	0,566	1,222	1,071	0,035	0,694	1,237	1,047	0,036	0,007	1,305	1,056	0,037
Greenness 3	0,566	1,222	1,071	0,035	0,694	1,237	1,047	0,036	0,007	1,305	1,054	0,037
Greenness 4	0,000	1,239	0,940	0,046	0,000	1,350	0,951	0,059	0,556	1,317	0,927	0,054
Greenness 5	0,490	2,166	1,142	0,104	0,416	2,236	1,177	0,092	0,617	2,655	1,284	0,094

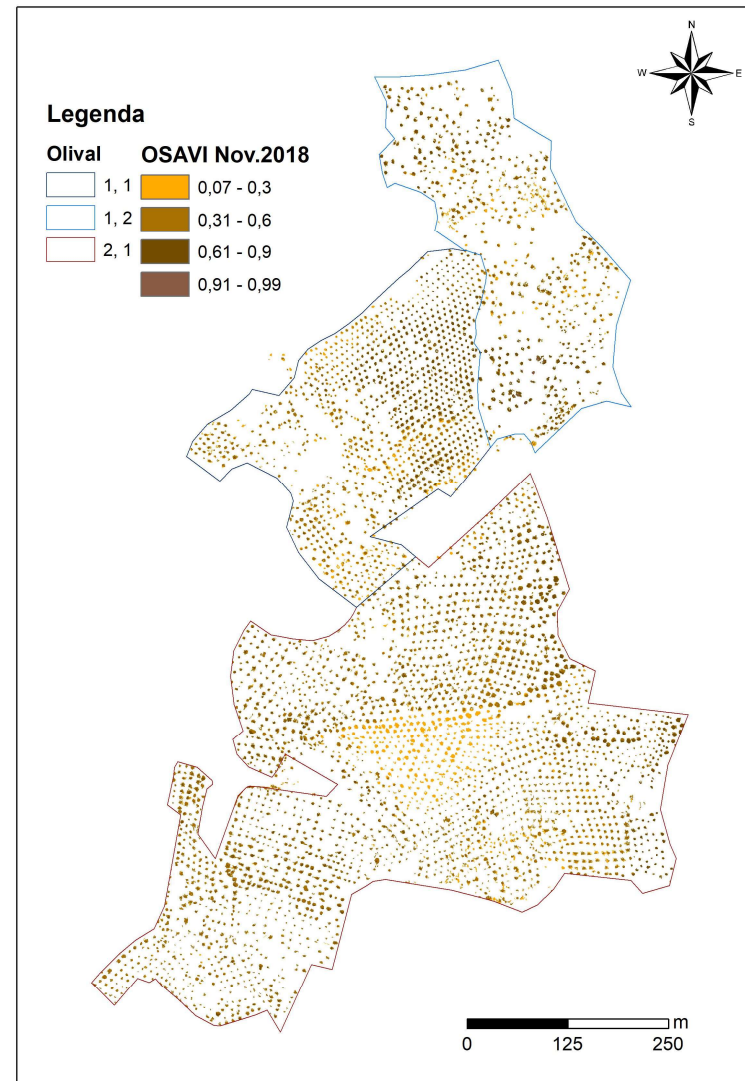
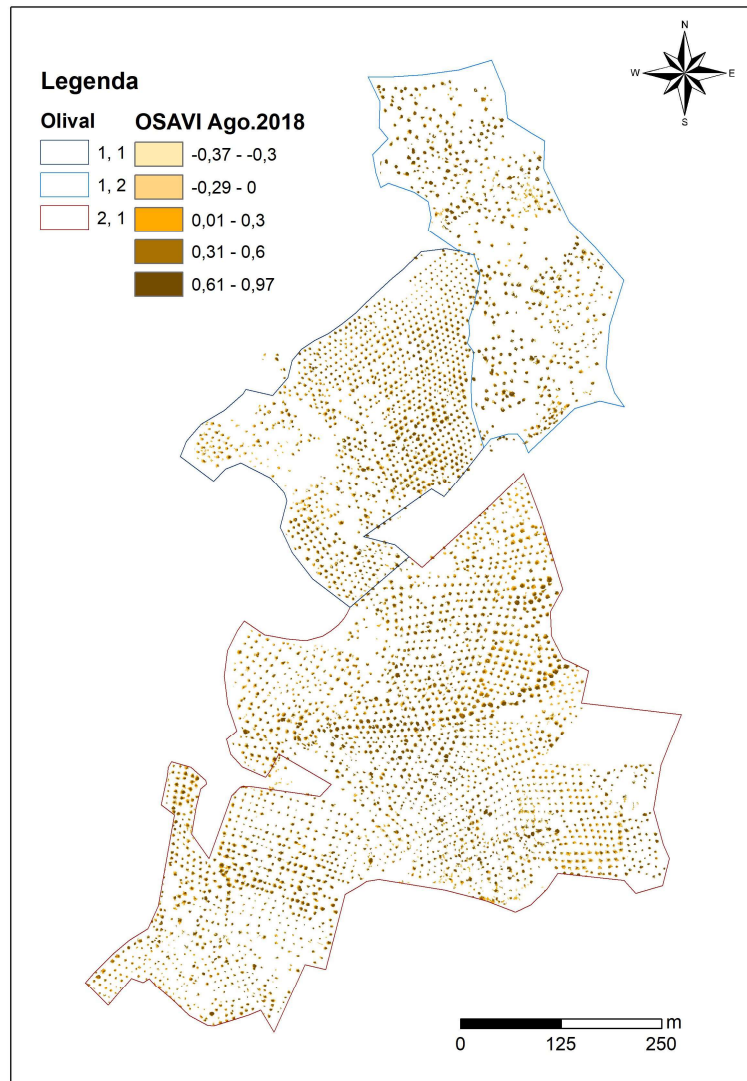
Anexo B - Mapas de NDVI

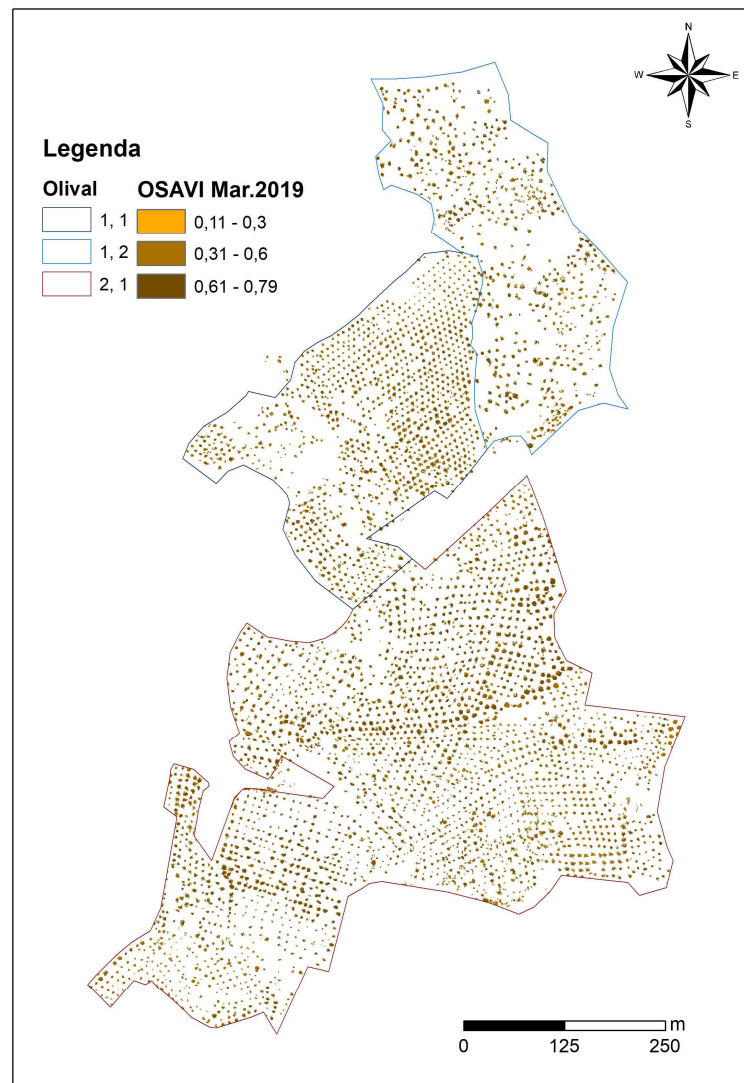




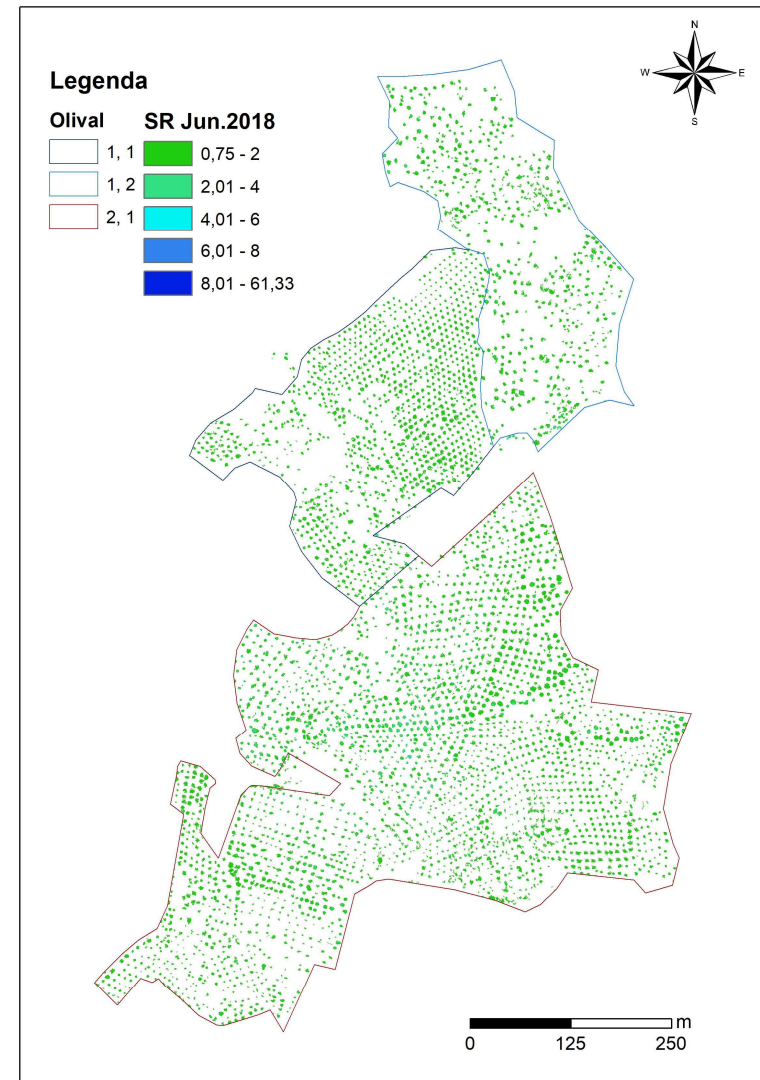
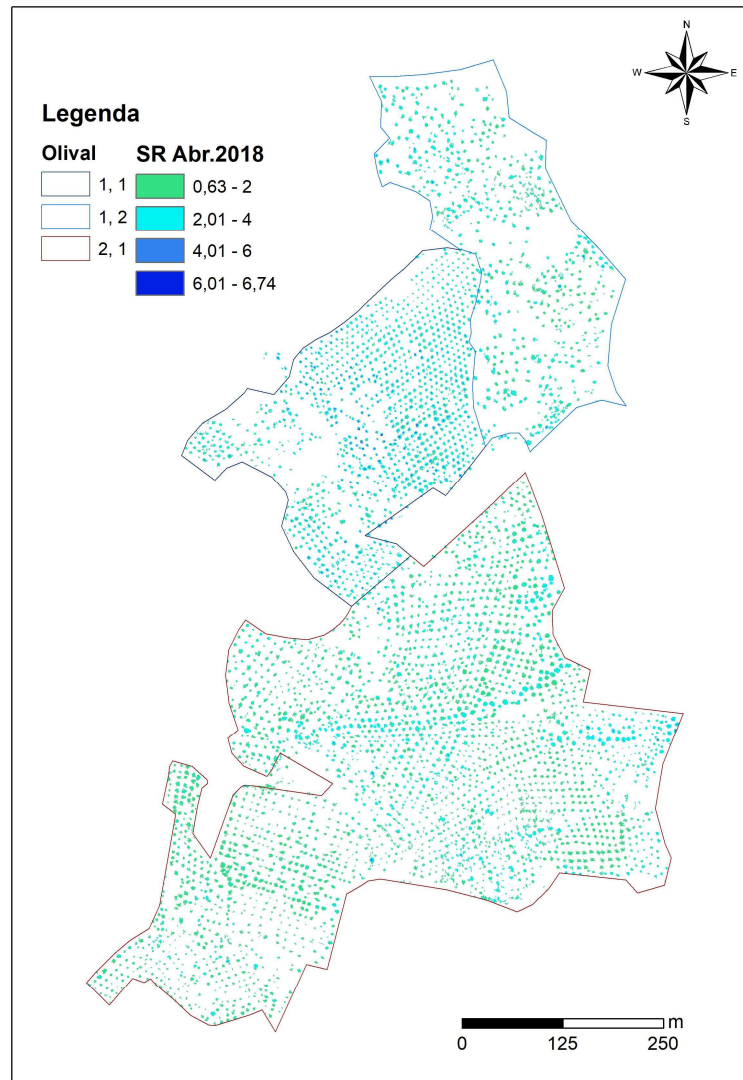
Anexo C - Mapas de OSAVI

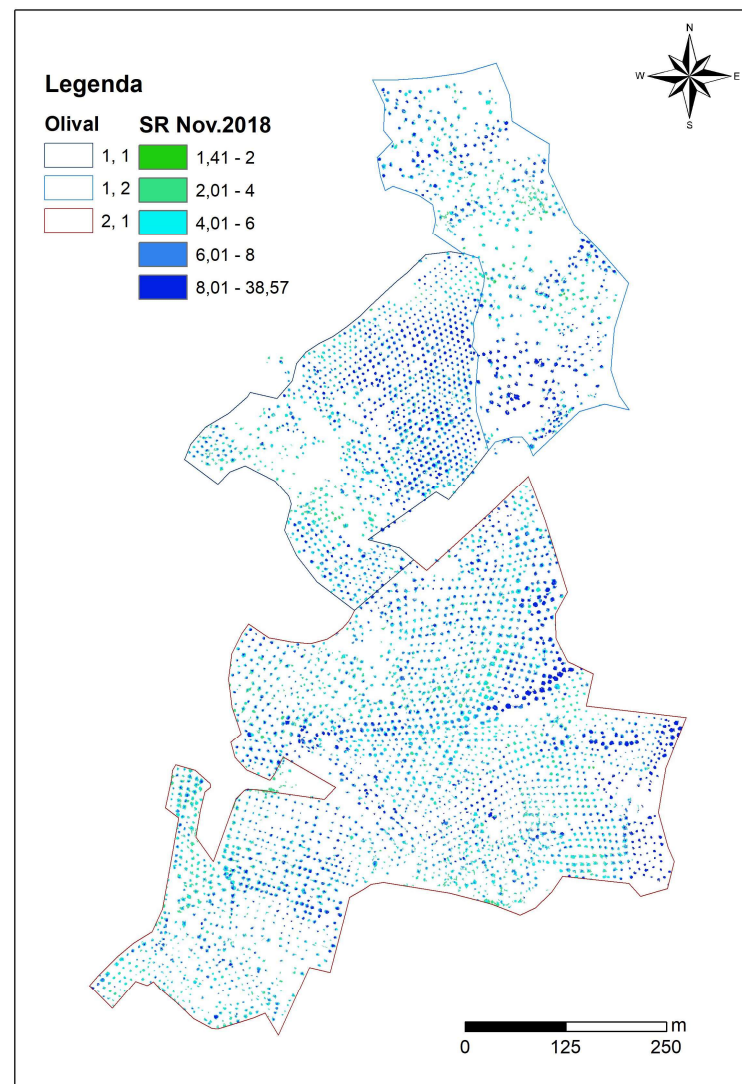
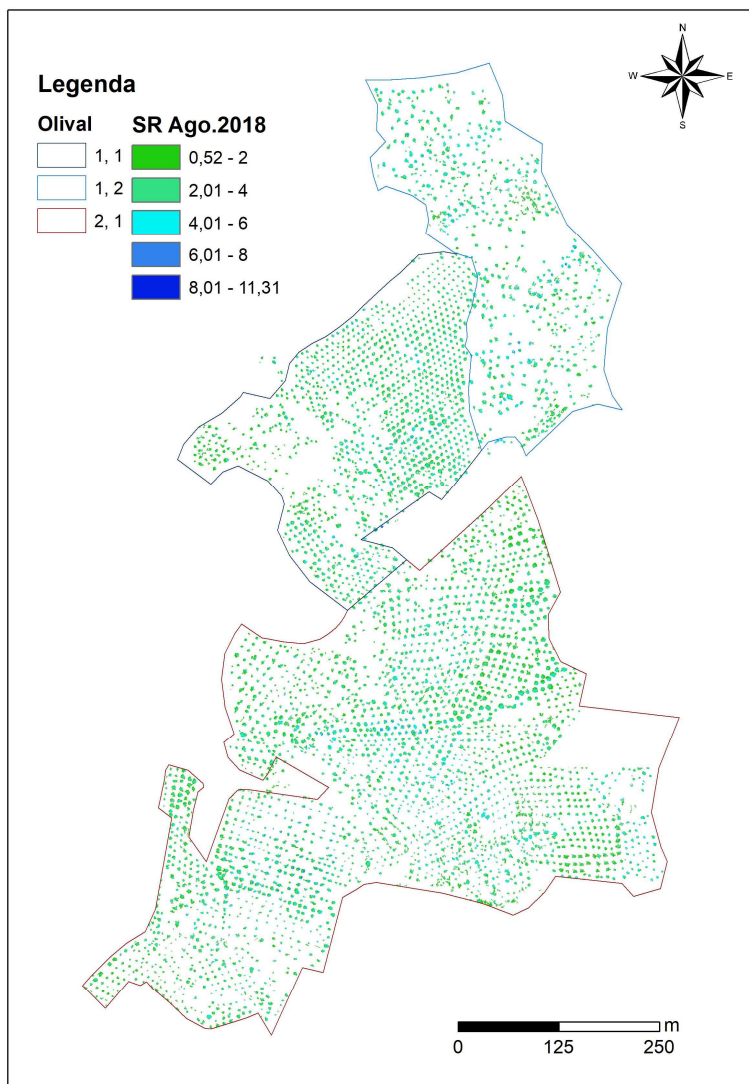


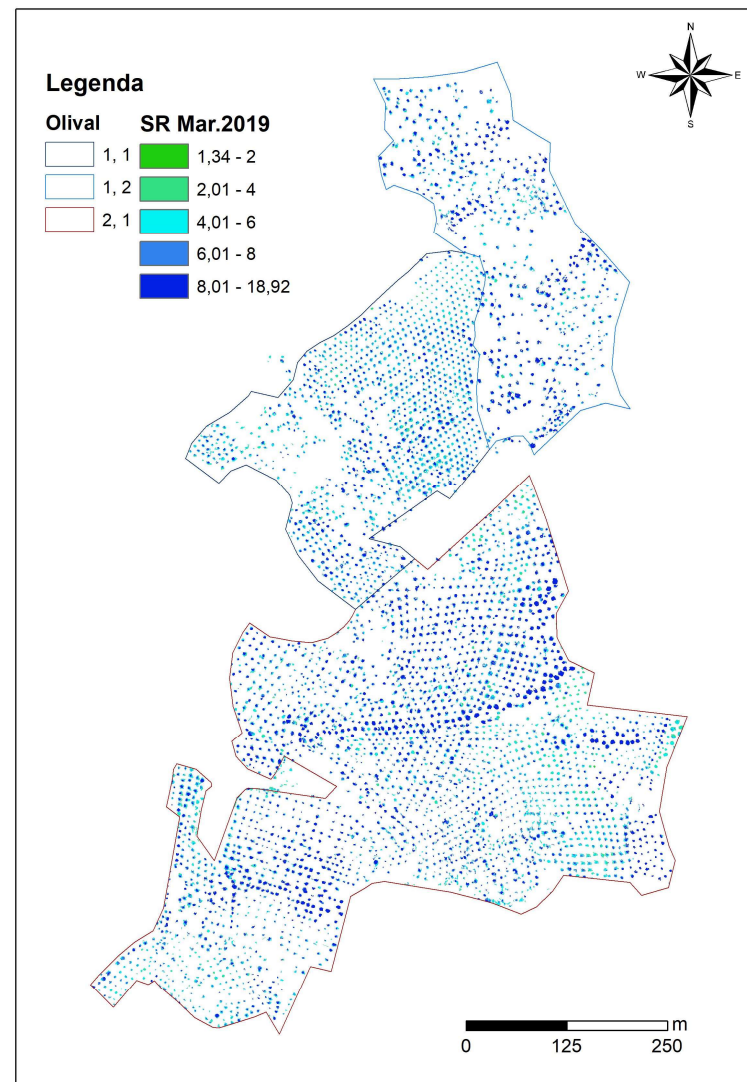




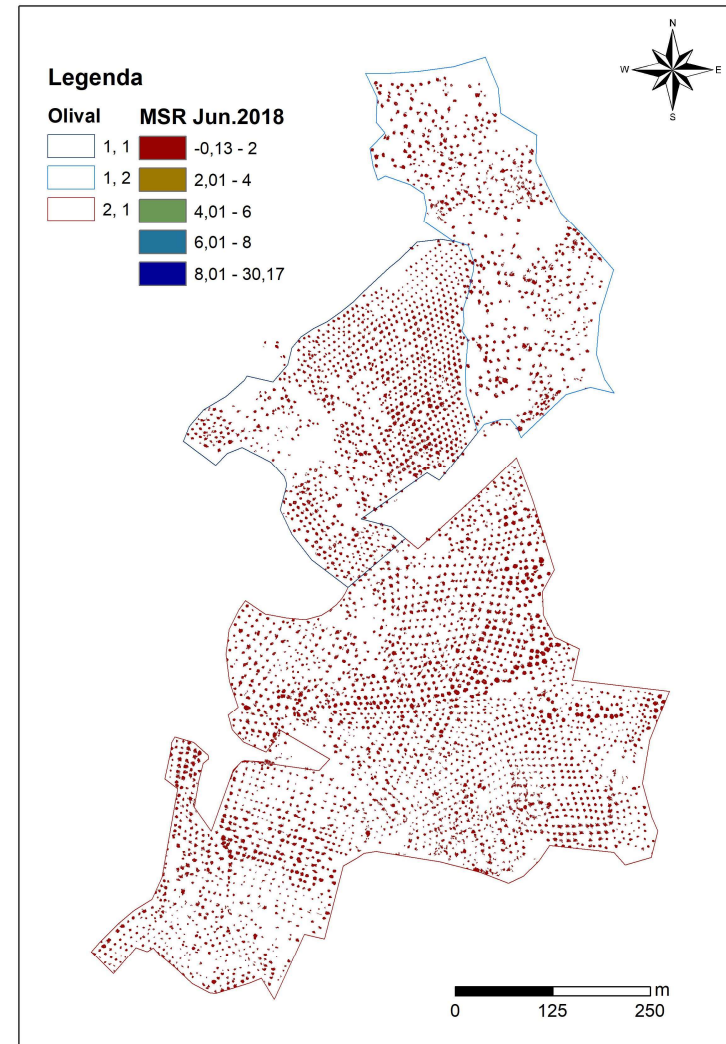
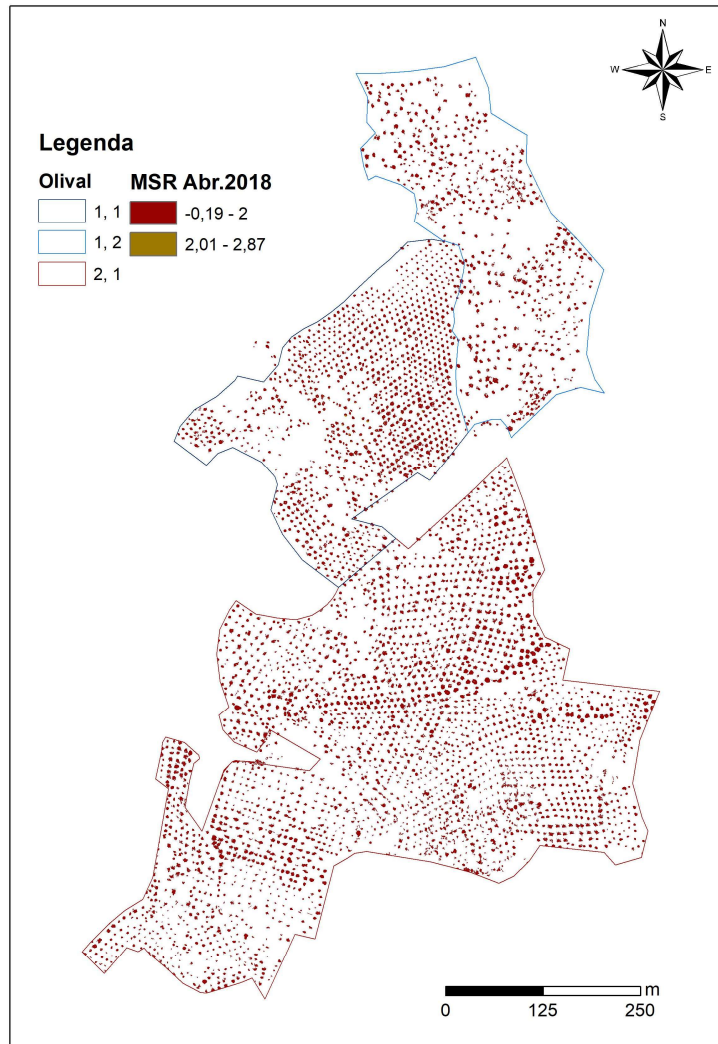
Anexo D - Mapas de SR

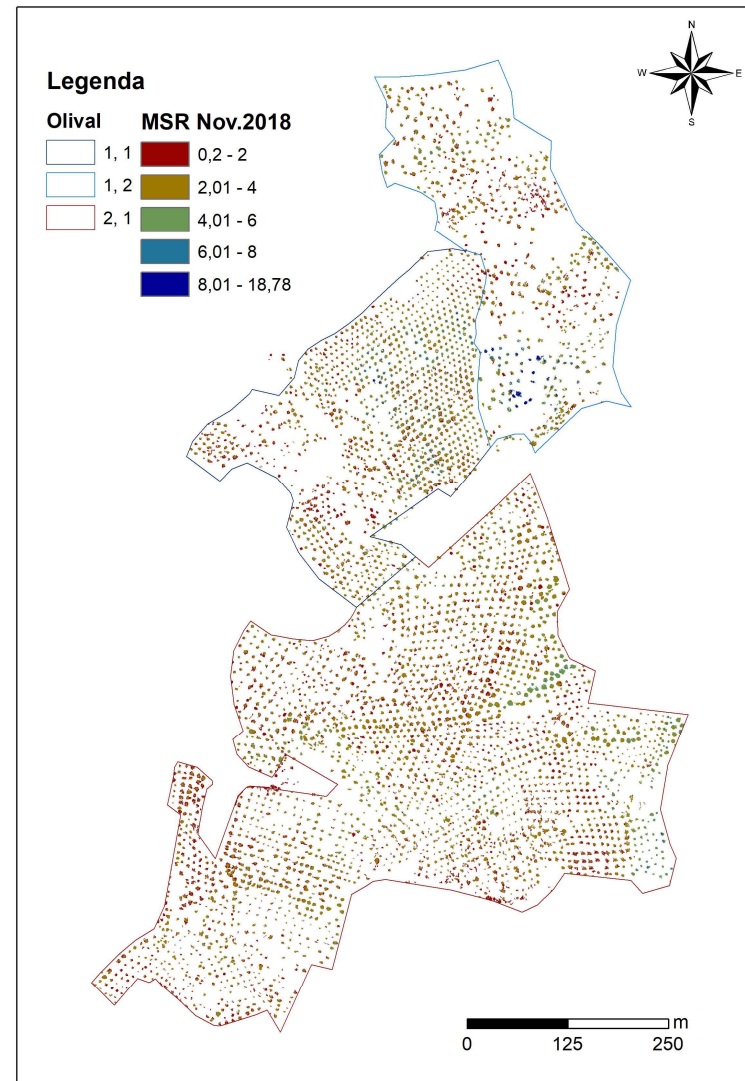
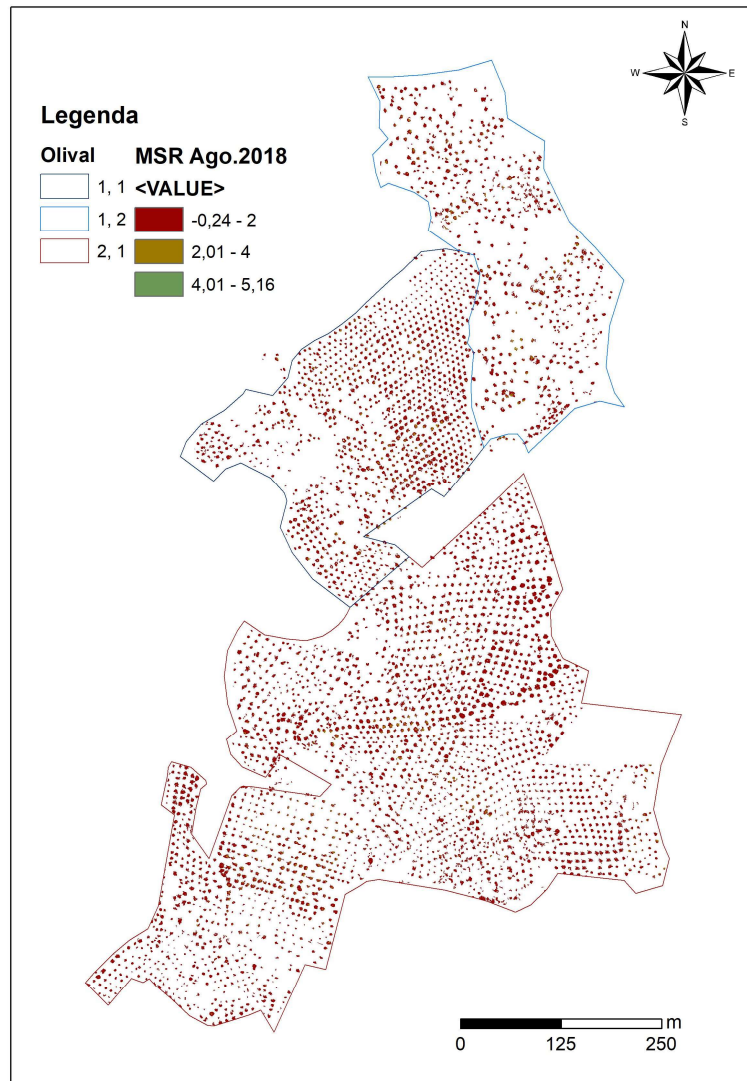


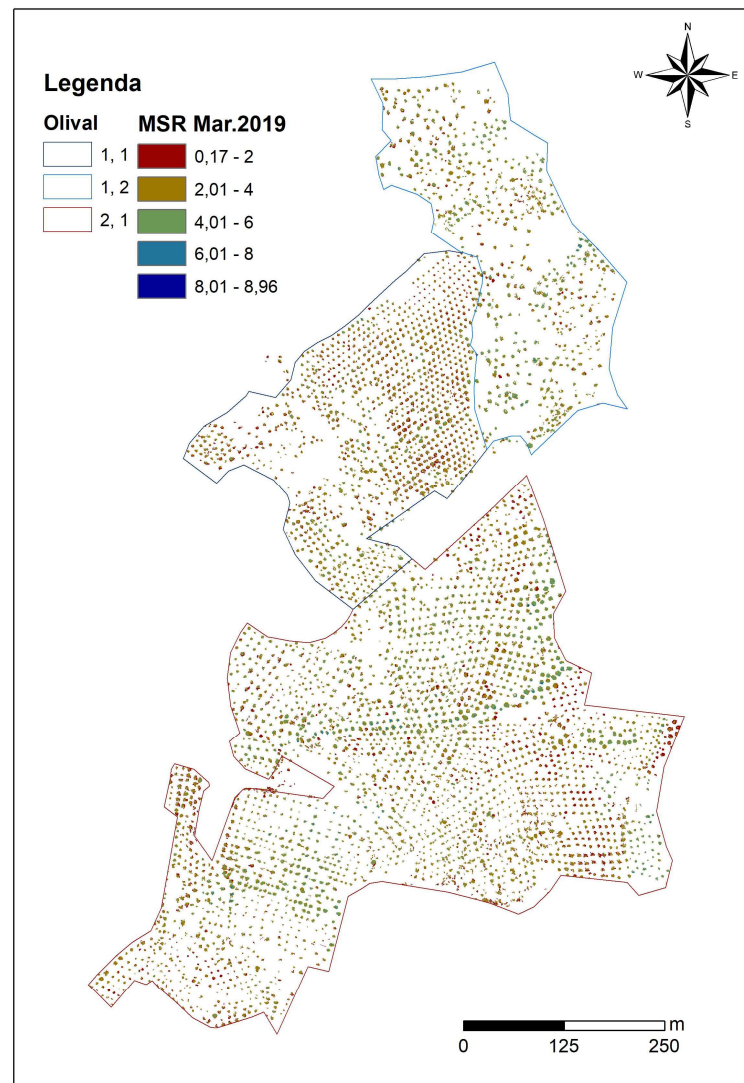




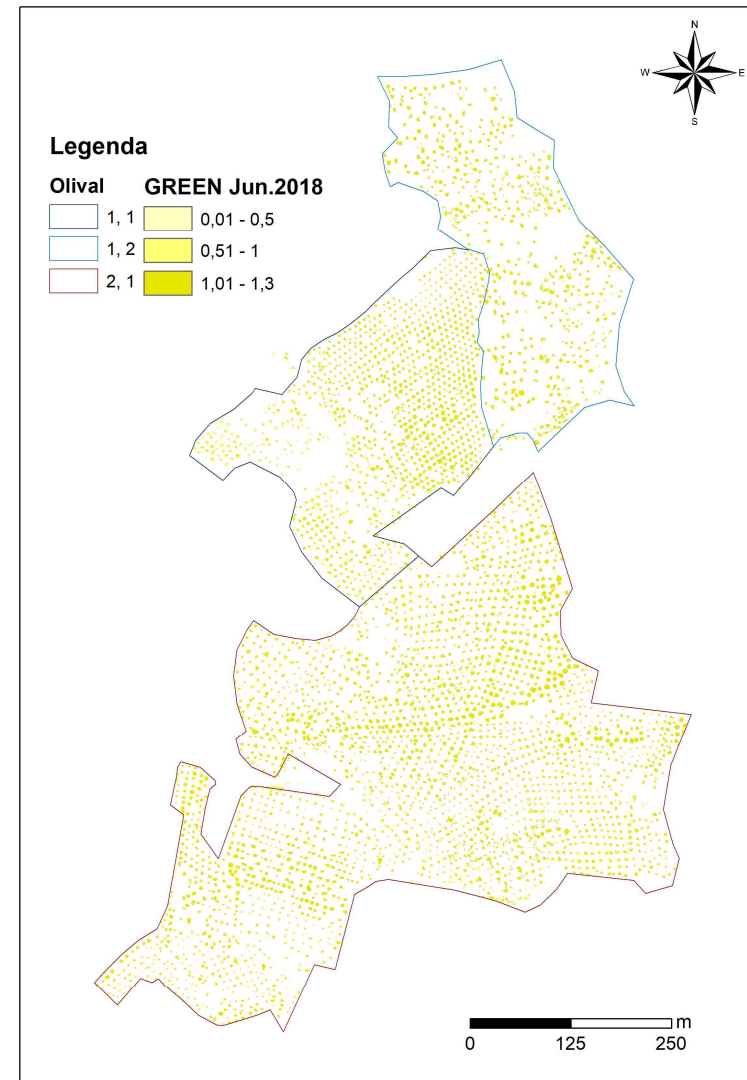
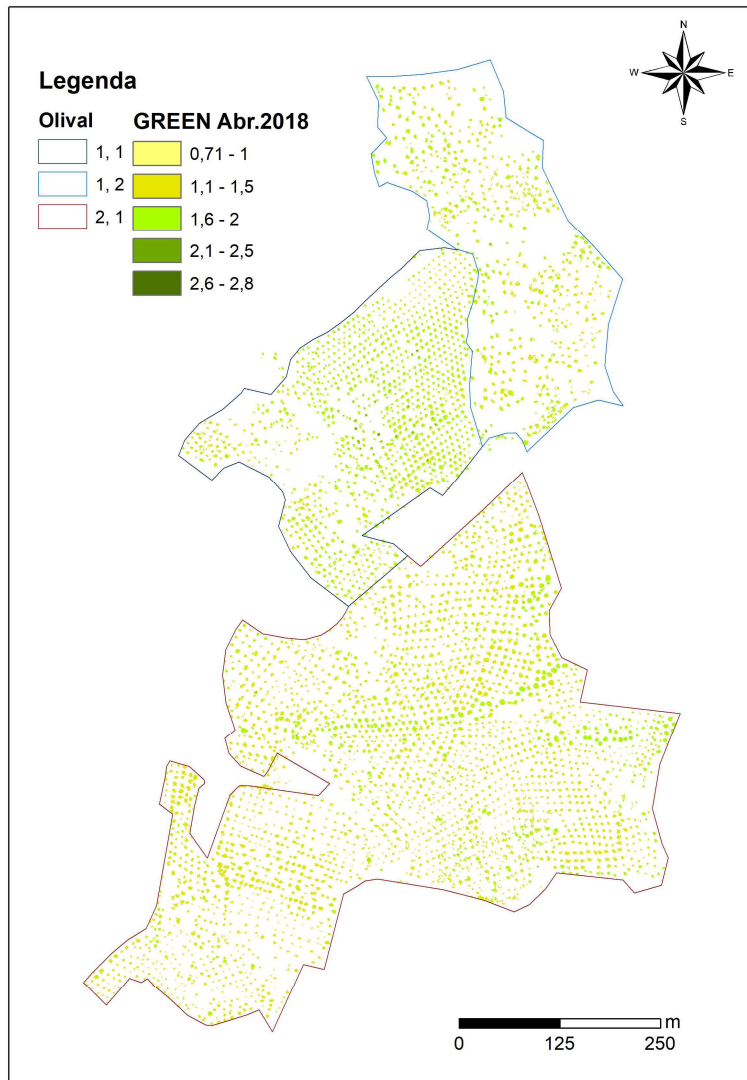
Anexo E - Mapas de MSR

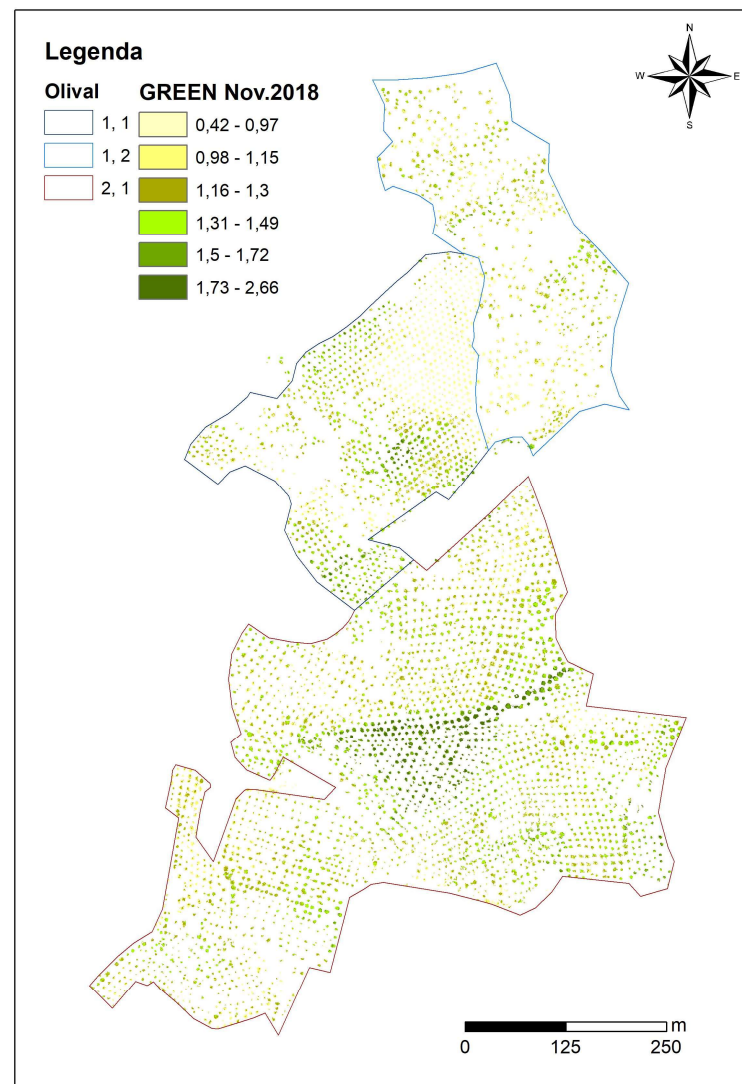
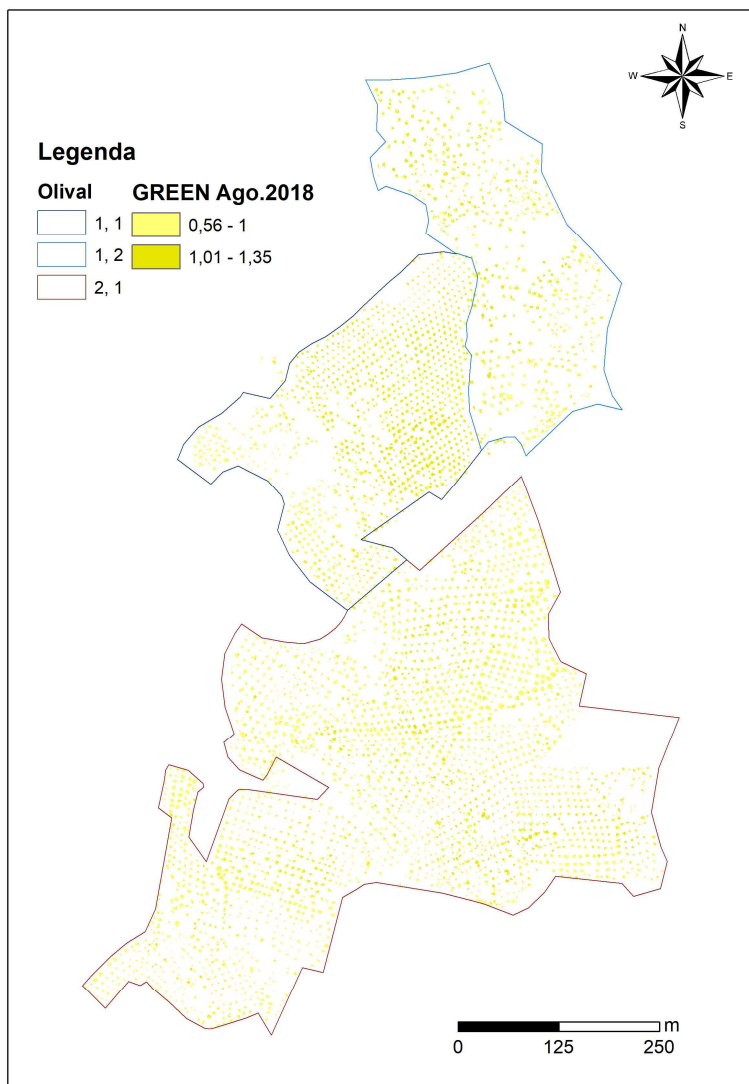


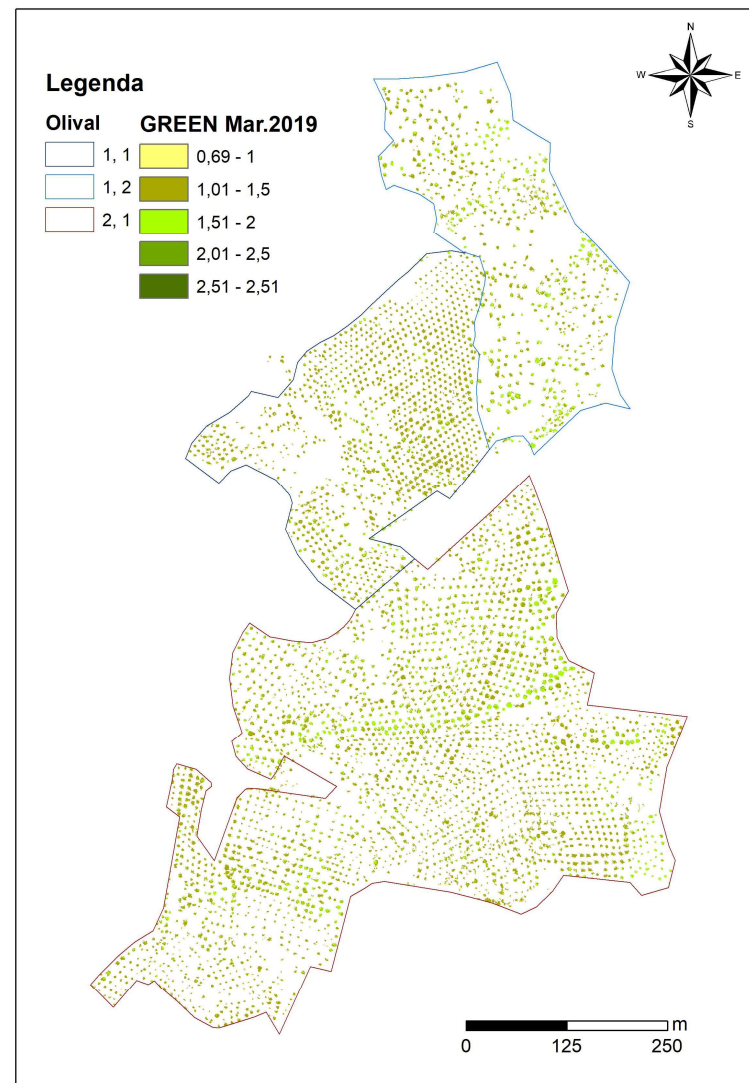




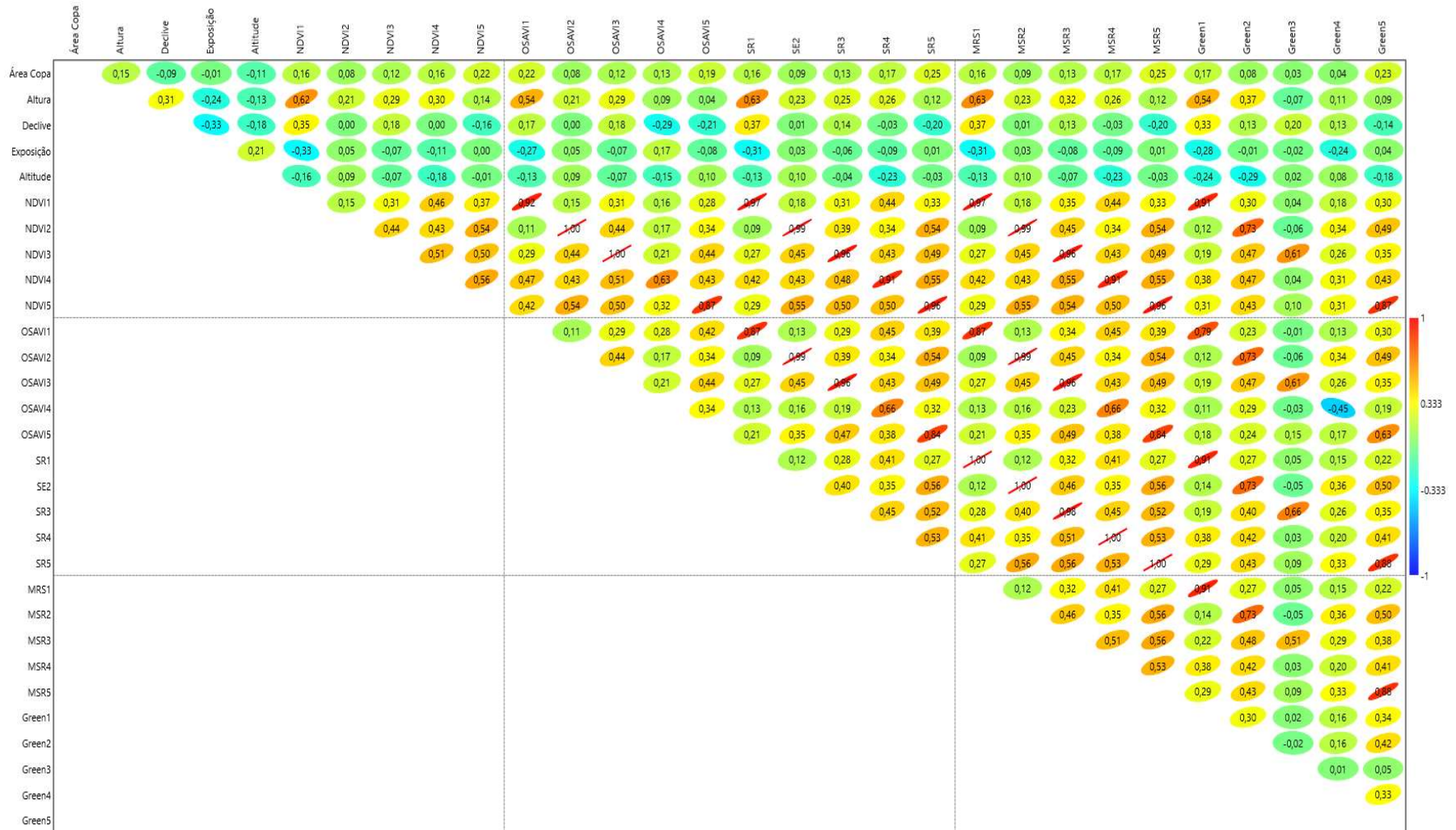
Anexo F - Mapas de Greenness







Anexo G - Matriz de correlação dos IV e fatores fisiográficos, das 3 parcelas em estudo.



Anexo H - Resultado das análises de solo.

Amostra	Textura manual *1	pH (H2O)		MO (%)		P ₂ O ₅ (mg/kg)		K ₂ O (mg/kg)		Cálcio de troca (cmol (+)/kg)		Magnésio de troca (cmol (+)/kg)		Boro extraível (mg/kg)	
		pH (H2O)	Class.	MO (%)	Class.	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Class.	K ₂ O (mg/kg)	Class.	Ca (cmol (+)/kg)	Class.	Mg (cmol (+)/kg)	Class.	Boro (mg/kg)	Class.
1.1	Média	5,3	Ac	1,56	B	24,2	M.B	201	A	4,93	B	0,74	B	1,28	A
1.2	Média	5,4	Ac	2,12	M	10,0	M.B	129	A	4,33	B	0,85	B	1,67	A
1.3	Média	5,5	Ac	2,50	M	15,9	M.B	109	A	7,12	M	1,66	M	0,77	M
2.1	Média	5,7	P.Ac.	2,33	M	32,0	B	117	A	5,35	M	0,92	B	0,69	M
2.2	Média	5,7	P.Ac.	2,10	M	25,0	M.B	459	M.A	4,71	B	0,79	B	1,19	A
2.3	Média	5,4	Ac	3,57	M	60,5	M	335	M.A	5,75	M	1,12	M	1,10	A
3.1	Média	6,1	P.Ac.	3,09	M	44,0	B	216	M.A	7,36	M	1,33	M	2,30	A
3.2	Média	6,5	P.Ac.	1,85	B	36,6	B	71,6	M	7,06	M	1,21	M	0,83	M
3.3	Média	6	P.Ac.	2,79	M	110	A	135	A	7,97	M	1,43	M	1,02	M
4.1	Média	6,3	P.Ac.	2,49	M	22,9	M.B	154	A	5,46	M	0,83	B	0,85	M
4.2	Média	6,5	P.Ac.	2,46	M	25,7	M.B	144	A	7,50	M	1,25	M	2,47	M.A
4.3	Média	6,3	P.Ac.	1,42	B	30,8	B	107	A	6,04	M	1,10	M	1,08	A
5.1	Média	6,4	P.Ac.	1,09	B	24,7	M.B	114	A	5,59	M	1,38	M	0,36	B
5.2	Média	6,6	N	2,36	M	30,3	B	135	A	6,74	M	1,64	M	0,70	M
5.3	Média	6,5	P.Ac.	1,27	B	30,9	B	111	A	5,53	M	1,20	M	0,49	M

Notas:

M.Ac = Muito Ácido; Ac = Ácido; P.Ac = Pouco Ácido; N = Neutro; M.B = Muito Baixo; B = Baixo; M = Médio; A = Alto; M. A = Muito Alto;

*1 **Grosseira** – Arenosa, Areno-Franco ou Franco-Arenosa / **Média** – Franca, Franco-Limosa ou Franco-Argilo-Arenosa / **Fina** – Franco-Argilosa, Argilo-Arenosa ou Argilosa

Anexo I - Matriz de correlação dos IV, fatores fisiográficos, e análises de solo da parcela CAPR 2.2 em estudo.

