

# Avaliação temporal e espacial da produtividade de duas parcelas de olival por imagens de satélite

Dissertação

Curso de Mestrado em Agricultura Sustentável

Carlos Alexandre Pedro Soares

Orientadores: Luís Alcino Conceição

Francisco Mondragão Rodrigues

Elvas, 2022

Este trabalho não contempla as críticas, sugestões e correções sugeridas pelo  
Júri

Carlos Alexandre Pedro Soares

## Avaliação espacial e temporal da produtividade de duas parcelas de olival por imagens de satélite

Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em (Agricultura Sustentável) conferido pelo Instituto Politécnico de Portalegre.

Orientador: Professor Doutor Luís Alcino da Conceição

Coorientador: Professor Doutor Francisco Mondragão-Rodrigues

Arguente principal: Professor Doutor José Ferro Palma

Arguente: Professor Doutor José Gama

Presidente do Júri: Professor Doutor José Rato Nunes

Classificação: 15 valores

Escola Superior Agrária de Elvas

2022

# Agradecimentos

A presente tese tem como finalidade a conclusão do curso de Mestrado em Agricultura Sustentável e a consequente obtenção do Grau de Mestre, algo que aspiro desde o início desta etapa que se iniciou em 2018. Para tal existiram alguns contributos por parte de pessoas e entidades, às quais gostaria de lhes demonstrar o meu maior apreço e gratidão.

Ao Professor Dr. Luís Alcino da Conceição, orientador deste trabalho, pelo seu enorme contributo na elaboração desta tese, pela sua disponibilidade, orientação e por me ter introduzido neste tema que é agricultura de precisão que certamente terá um tremendo impacto no meu futuro profissional.

Ao Professor Dr. Francisco Mondragão-Rodrigues pela sua colaboração disponibilidade e know-how aplicado ao olival, que contribuíram para enriquecer este trabalho.

À Escola Superior Agrária de Elvas e a todos os professores que nela lecionam e que contribuíram, uma vez mais, de um modo ou outro, para a minha formação.

Aos meus colegas e amigos que me acompanharam durante todo este percurso.

E finalmente, um agradecimento especial aos meus pais e família por me terem dado a oportunidade de alcançar este nível académico, o meu maior apreço e gratidão, pois sem eles e sem o seu apoio incondicional, nada disto teria sido possível.

# Resumo

Com o exponencial crescimento da cultura da oliveira em Portugal e com a sua crescente importância nas contas da agricultura nacional, a adoção de novas tecnologias e aplicações face aos métodos de análise e planeamento tradicionais torna-se imperativa do ponto de vista evolutivo do setor, no sentido de assegurar cada vez maior eficiência na produção e rentabilidade desta cultura.

No presente estudo avaliou-se a relação entre diferentes índices de vegetação (NDVI, NDWI, e RADAR) e parâmetros de produtividade (VC, SC, P, IM e GMS) ao longo do ciclo vegetativo de duas variedades de oliveira ('Galega vulgar' e 'Cobrançosa'). Foi estabelecido um delineamento experimental, para assegurar representatividade e significado estatístico, que consistiu em 5 pontos/blocos na parcela da variedade 'Cobrançosa' e 8 pontos/blocos na parcela da variedade 'Galega vulgar', cada ponto correspondendo a um conjunto de 4 árvores consecutivas na linha.

A fenologia com base na escala BBCH foi acompanhada sendo avaliados parâmetros como a produtividade, através da pesagem da produção individual de cada árvore em estudo, e a sua respetiva biometria (superfície da copa e volume da copa). Em laboratório foram ainda feitas determinações do índice de maturação (IM) e do teor de gordura na matéria seca (GMS).

Os resultados obtidos indicam que o uso destas tecnologias (deteção remota e índices vegetativos) apresenta potencialidades para uso alargado na olivicultura. Verificaram-se correlações significativas entre os índices NDVI e NDWI e alguns parâmetros da produção. As variantes NDVI' e NDWI' acabam, em muitos casos, por fornecer valores ainda mais significativos que justificam a aposta numa análise centrada na linha de oliveiras, excluindo a entrelinha. No entanto, será necessário repetir este estudo em outras campanhas olivícolas, dada a influência do ano agrícola no comportamento e produção da oliveira e na existência do fenómeno de alternância da produção.

Assim, o uso deste tipo de índices demonstram ser uma ferramenta com bastantes potencialidades numa ótica de apoio ao olivicultor, facilitando não só na tomada de decisão para correção de situações detetadas durante o ciclo anual da oliveira, mas contribuindo também, numa perspetiva mais ampla, para melhoria dos parâmetros de produtividade.

Palavras-chave: 'Galega vulgar'; 'Cobrançosa'; NDVI; NDWI; RADAR; Deteção remota

# Abstract

With the exponential growth of the olive tree culture in Portugal and with its increasing importance in the national agricultural accounts, the adoption of new technologies and applications in relation to traditional methods of analysis and planning becomes imperative from the point of view of the evolution of the sector, in order to ensure greater efficiency in production and profitability of this crop.

In the present study we evaluated the relationship between different vegetative indexes (NDVI, NDWI, and RADAR) and productivity parameters (VC, SC, P, IM and GMS) throughout the vegetative cycle of two varieties of olive tree ('Galega vulgar' and 'Cobrançosa'). An experimental design was established, to ensure representativeness and statistical significance, consisting of 5 points/blocks in the plot of the 'Cobrançosa' variety and 8 points/blocks in the plot of the 'Galega vulgar' variety, each point corresponding to a set of 4 consecutive trees in the row.

The phenology based on the BBCH scale was monitored and parameters such as productivity was evaluated, by weighing the individual production of each tree under study, and its respective biometry (crown surface and crown volume). In the laboratory, the maturation index (MI) and the fat content in dry matter (GMS) were also determined.

The results obtained indicate that the use of these technologies (remote sensing and vegetative indexes) presents potential for widespread use in olive cultivation. Significant correlations were found between NDVI and NDWI indexes and some production parameters. In many cases, the NDVI' and NDWI' end up providing even more significant values that justify an analysis centered on the olive tree row, excluding the between-row. However, it will be necessary to repeat this study in other olive growing seasons, given the influence of the agricultural year on the behavior and production of the olive tree and the existence of the phenomenon of alternating production.

Thus, the use of this type of indices demonstrates to be a tool with great potential in a perspective of support to the olive grower, facilitating not only the decision making for correction of situations detected during the annual cycle of the olive tree, but also contributing, in a broader perspective, to improve the parameters of productivity.

Keywords: 'Galega vulgar'; 'Cobrançosa'; NDVI; NDWI; RADAR; Remote sensing

# Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

BBCH - Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemical industry;

DR - Detecção remota

GMS- Gordura na Matéria Seca;

H - Polarização Horizontal;

ha - Hectare;

HPC - Computação de Alto Desempenho;

IA - Inteligência Artificial;

IoT - Internet das Coisas;

IM- Índice de Maturação;

IV - Índices Vegetativos;

K- Kelvin

kg - Quilogramas;

MSI - Multispectral Instrument;

NDMI - Normalized Difference Moisture;

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index;

NDWI – Normalized Difference Water Index;

P- Produtividade;

PAC – Política Agrícola Comum

PVI - Perpendicular Vegetation Index;

RADAR - Radio Detection And Ranging;

RVI – Ratio Vegetation Index;

SAR - Synthetic Aperture RADAR;

SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index;

SC- Superfície de Copa;

TSAVI – Transformed Soil Adjusted Vegetation Index;

V- Polarização Vertical;

VC- Volume de Copa;

WDVI - Weighted Difference Vegetation Index;



# Índice Geral

|                                                                         |      |
|-------------------------------------------------------------------------|------|
| Agradecimentos .....                                                    | i    |
| Resumo .....                                                            | ii   |
| Abstract .....                                                          | iii  |
| Abreviaturas, Siglas e Acrónimos .....                                  | iv   |
| Índice de Quadros .....                                                 | viii |
| Índice de Figuras .....                                                 | ix   |
| 1. Introdução e Objetivos .....                                         | 1    |
| 1.1. Introdução .....                                                   | 1    |
| 1.2. Objetivos .....                                                    | 2    |
| 2. Revisão Bibliográfica .....                                          | 3    |
| 2.1 Fileira do Azeite, presente e futuro .....                          | 3    |
| 2.2 Olival, itinerário técnico e estados fenológicos .....              | 7    |
| 2.3 Tecnologias aplicadas ao olival .....                               | 10   |
| 2.3.1 Detecção remota – sensores óticos .....                           | 10   |
| 2.3.2 Índices de vegetação .....                                        | 15   |
| 2.4 Digitalização .....                                                 | 21   |
| 3. Material e Métodos .....                                             | 23   |
| 3.1 Local de realização dos ensaios .....                               | 23   |
| 3.1.1 Parcela de ensaio da variedade ‘Galega vulgar’ .....              | 23   |
| 3.1.2 Parcela de ensaio da variedade ‘Cobrançosa’ .....                 | 24   |
| 3.2. Caracterização edáfica e topográfica das parcelas .....            | 25   |
| 3.3. Caracterização climática .....                                     | 29   |
| 3.4. Caracterização das variedades em estudo .....                      | 31   |
| 3.4.1 ‘Galega vulgar’ .....                                             | 31   |
| 3.4.2 ‘Cobrançosa’ .....                                                | 32   |
| 3.5. Itinerário cultural .....                                          | 33   |
| 3.6. Metodologia para determinações em campo e laboratório .....        | 33   |
| 3.6.1 Avaliação dos Estados Fenológicos .....                           | 34   |
| 3.6.2 Produtividade, Volume e Superfície da Copa .....                  | 34   |
| 3.6.3 Índice de maturação e teor de gordura na matéria seca (GMS) ..... | 36   |
| 3.7. Avaliação multiespectral da cultura .....                          | 37   |
| 3.8. Tratamento estatístico de dados .....                              | 38   |
| 4. Resultados e Discussão .....                                         | 39   |

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 Variação temporal dos índices NDVI e NDWI e padrão espacial das variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’ ..... | 39 |
| 4.2 Variação espacial à data de colheita das variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’ .....                        | 46 |
| 4.2.1 Índices NDVI, NDWI e RADAR .....                                                                              | 46 |
| 4.2.2 Produtividade, Biometria da copa, IM e GMS .....                                                              | 51 |
| 4.3 Análise de correlação e modelação.....                                                                          | 54 |
| 4.4 Análise económica e medidas de correção .....                                                                   | 55 |
| 5. Conclusões .....                                                                                                 | 57 |
| Anexos .....                                                                                                        | 65 |

# Índice de Quadros

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - Exemplos de Índices de vegetação usados em agricultura .....                                                                                                                                                                                                                                                                      | 16 |
| Quadro 2 - Resultados da análise composta de 3 subamostras do solo (0-0,3m) da parcela da variedade 'Galega vulgar' .....                                                                                                                                                                                                                    | 26 |
| Quadro 3 - Resultados da análise composta de 3 subamostras do solo (0-0,3m) da parcela da variedade 'Cobrançosa' .....                                                                                                                                                                                                                       | 28 |
| Quadro 4 - Valor mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos índices NDVI e NDWI observados na variedade 'Galega vulgar' (em cima) e 'Cobrançosa' (em baixo) ao longo do ciclo vegetativo .....                                                                                                                       | 40 |
| Quadro 5 - Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros NDVI, NDVI <sup>1</sup> na linha, NDWI, NDWI <sup>1</sup> na linha, RADAR (VH) e RADAR (VV) registados à data da colheita para a variedade 'Galega vulgar' (em cima) e 'Cobrançosa' (em baixo). ....                                        | 46 |
| Quadro 6 - Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros Produtividade (P), Superfície da Copa (SC), Volume da Copa (VC), Índice de Maturidade (IM) e teor de Gordura na Matéria Seca (GMS) registados à data da colheita para a variedade 'Galega vulgar' (em cima) e 'Cobrançosa' (em baixo). .... | 51 |
| Quadro 7 - Análise de correlação dos parâmetros de produção e índices vegetativos à data de colheita para a variedade 'Galega vulgar' (em cima) e para a variedade 'Cobrançosa' (em baixo). ....                                                                                                                                             | 54 |
| Quadro 8 - Custos de produção e receita bruta, considerando os valores mínimos, máximos e médios de produção de azeitona, 'Galega vulgar' (em cima) e 'Cobrançosa' (em baixo).....                                                                                                                                                           | 56 |

# Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Custos de Produção (€) por kg/azeite em diferentes sistemas de condução                                                                                                                                                  | 4  |
| Figura 2 - Área de olival por tipologia em Portugal                                                                                                                                                                                 | 5  |
| Figura 3 - Evolução da produtividade média (ton/ha) de azeitona em Portugal no período 2000 a 2018                                                                                                                                  | 6  |
| Figura 4 - Custos de Produção (€) por kg/azeite em sistemas intensivos de regadio                                                                                                                                                   | 6  |
| Figura 5 - Distribuição das operações ao longo do ano                                                                                                                                                                               | 7  |
| Figura 6 - Ciclo da oliveira segundo a escala BBCH                                                                                                                                                                                  | 9  |
| Figura 7- Espectro eletromagnético com realce para os comprimentos de onda da radiação da luz visível e do Infravermelho.                                                                                                           | 10 |
| Figura 8 - Componentes da Detecção remota                                                                                                                                                                                           | 11 |
| Figura 9 - Interação da radiação eletromagnética com um objeto                                                                                                                                                                      | 12 |
| Figura 10 - Ilustração do princípio de um sensor passivo e de um sensor ativo                                                                                                                                                       | 12 |
| Figura 11 - Resumo das características da Missão Sentinel                                                                                                                                                                           | 14 |
| Figura 12 - Possível causa efeito para diferentes classes de valor do índice NDVI                                                                                                                                                   | 17 |
| Figura 13 - Funcionamento de um sistema SAR                                                                                                                                                                                         | 19 |
| Figura 14 - Polarização do sinal em função da superfície alvo                                                                                                                                                                       | 20 |
| Figura 15 - Sensibilidade das medições de SAR à estrutura das copas das árvores e penetração no dossel em diferentes comprimentos de onda usados para observações de sensoriamento remoto aéreo ou espacial da superfície terrestre | 21 |
| Figura 16 - Oportunidades resultantes de novas tecnologias digitais em diferentes níveis da cadeia de produção                                                                                                                      | 22 |
| Figura 17- Localização das parcelas de ensaio na Herdade Torre das Figueiras                                                                                                                                                        | 23 |
| Figura 18 - Localização da parcela e dos blocos de ensaio da variedade Galega                                                                                                                                                       | 24 |
| Figura 19 - Localização da parcela e dos blocos de ensaio da variedade 'Cobrançosa'                                                                                                                                                 | 24 |
| Figura 20 - Manchas de solos e da sua capacidade de uso das 2 parcelas                                                                                                                                                              | 25 |
| Figura 21 - Carta do MDT da parcela da variedade 'Galega vulgar' processado em QGIS a partir de dados da DGT                                                                                                                        | 27 |
| Figura 22 - Carta do MDT da parcela da variedade 'Cobrançosa' processado em QGIS a partir de dados da DGT                                                                                                                           | 29 |
| Figura 23 - Temperatura do ar, Normais climatológicas 1971-2000 Portalegre                                                                                                                                                          | 30 |
| Figura 24 - Precipitação, Normais Climatológicas 1971-2000 Portalegre                                                                                                                                                               | 30 |
| Figura 25 - Gráfico termopluviométrico referente ao período de janeiro a dezembro de 2019 na herdade da Torre das Figueiras                                                                                                         | 31 |
| Figura 26 - Aspeto fenotípico da folha, ramificação, fruto, endocarpo e inflorescência da variedade 'Galega vulgar'                                                                                                                 | 32 |
| Figura 27- Aspeto fenotípico da folha, ramificação, fruto, endocarpo e inflorescência da variedade 'Galega vulgar'                                                                                                                  | 32 |
| Figura 28 - Distribuição temporal das operações culturais nos olivais em estudo                                                                                                                                                     | 33 |
| Figura 29 - Observação em campo dos estados fenológicos                                                                                                                                                                             | 34 |
| Figura 30 - Operação de colheita para avaliação da produtividade                                                                                                                                                                    | 35 |
| Figura 31 - Equipamento de análise FOSS e moinho de martelos usado para preparar a amostra de azeitona                                                                                                                              | 37 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 32 - Etapas no processamento de imagens de Satélite .....                                                                                                                                                                                                                                                        | 38 |
| Figura 33 - Curvas de evolução do ciclo fenológico e detalhe do período de floração, dos Índices NDVI, NDWI da variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo).....                                                                                                                                       | 39 |
| Figura 34 - Modelo linear de relação entre os valores registados dos índices de NDVI e NDWI ao longo do ciclo da cultura da variedade ‘Galega vulgar’ (à esquerda) e ‘Cobrançosa’ (à direita). ....                                                                                                                     | 41 |
| Figura 35- Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDVI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Galega vulgar’:.....                                                                                                                                                       | 42 |
| Figura 35 A – Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDWI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Galega vulgar’ ...                                                                                                                                                      | 43 |
| Figura 36- Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDVI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Cobrançosa’ .....                                                                                                                                                          | 44 |
| Figura 36 A – Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDWI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’: .....                                                                                                                                    | 45 |
| Figura 37- Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice NDVI da variedade ‘Galega vulgar’ no todo da parcela (em cima à esquerda) e na linha da cultura (em cima à direita), e da variedade ‘Cobrançosa’ no todo da parcela (em baixo à esquerda) e na linha da cultura (em baixo à direita) .....  | 48 |
| Figura 38 - Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice NDWI da variedade ‘Galega vulgar’ no todo da parcela (em cima à esquerda) e na linha da cultura (em cima à direita), e da variedade ‘Cobrançosa’ no todo da parcela (em baixo à esquerda) e na linha da cultura (em baixo à direita). .... | 49 |
| Figura 39- Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice RADAR da variedade ‘Galega vulgar’ projeção VH (em cima à esquerda) e projeção VV (em cima à direita), e da variedade ‘Cobrançosa’ projeção VH (em baixo à esquerda) e projeção VV (em baixo à direita). ....                               | 50 |
| Figura 40- Cartas do padrão espacial das variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’ para Produtividade (em cima), SC (ao centro) e VC (em baixo). ....                                                                                                                                                                   | 53 |

# 1. Introdução e Objetivos

## 1.1. Introdução

Atualmente a cultura da oliveira para a produção de azeite, conta com uma área de cerca de 11 milhões de hectares distribuídos por 5 continentes e 47 países em ambos os hemisférios norte e sul, sendo que a maior área de colheita, 98% se situa na região do Mediterrâneo. Para o processamento desta azeitona, existem aproximadamente 12 000 lagares de azeite no mundo, sendo o azeite consumido em cerca de 160 países (COI, 2015).

Neste cenário, com uma área total de olival de aproximadamente 377 000 ha (INE, 2020a) e onde as previsões apontam para uma produção histórica de azeitona para azeite de mais de 940 mil toneladas no ano 2020 (INE, 2020b), Portugal afirma-se cada vez mais a nível mundial no setor olivícola, colocando-se no terceiro maior exportador de azeite na União Europeia (Eurostat, 2019). Comparando com os dados de 2010, onde a área total de olival era cerca de 369 mil ha (GPP, 2020) o setor olivícola apresenta hoje um valor superior derivado, por um lado à intensificação dos sistemas de produção com a plantação de novos olivais em regime intensivo e superintensivo, e por outro lado pelos notáveis avanços tecnológicos nas técnicas de plantação, rega, condução e poda, colheita e monitorização da cultura (Braga et al., 2013).

Ainda assim, a presença de olivais em zonas de solos marginais, de reduzida fertilidade e grande variação espacial, a variação no clima nas regiões onde se insere e a meteorologia de cada ano agrícola, são fatores que condicionando a homogeneidade de produção importa identificar e, sempre que possível, implementar técnicas de manejo diferenciado dos fatores de produção na gestão dessas áreas. Na ótica do conceito de agricultura de precisão, o uso de tecnologias sensoriais combinadas com a georreferenciação do local permite de forma expedita a avaliação da variação no espaço e no tempo do ciclo vegetativo da cultura. Entre estas, destacam-se as técnicas de deteção remota através das quais é possível a determinação de Índices de Vegetação (IV) obtidos por diferentes tipos de sensores, cuja avaliação dos cobertos vegetais permite distinguir zonas de maior e menor produção (Sousa e Silva, 2011).

Atualmente, as diferentes constelações de satélites em órbita, com destaque no continente europeu para a constelação Sentinel, da Agencia Espacial Europeia, permite a obtenção de imagens com resolução temporal inferior a uma semana e resolução espacial de 10 a 30 m por *pixel*, em conjunto com a disponibilidade de plataformas digitais em código aberto ou comerciais que processam estas imagens, constituem novos instrumentos para a gestão do agricultor e correção de fatores de produção que frequentemente estão na origem da variação de produtividade da cultura.

## 1.2. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo geral demonstrar a aplicabilidade na olivicultura do uso integrado de técnicas de detecção remota por imagens de satélite, com a avaliação *in situ* de dados da cultura, para proceder à monitorização temporal e espacial do desenvolvimento da cultura e previsão da sua produtividade.

São objetivos específicos:

1. Avaliar a potencialidade do uso de imagens satélite na interpretação da variação espacial e temporal na produtividade em duas variedades distintas de oliveira;
2. Aferir as relações entre os Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) obtidos a partir de sensores óticos, e informação radiométrica no campo das micro-ondas obtida por sensores que detetam e localizam objetos por emissão de ondas (RADAR - Radio Detection and Ranging) com os parâmetros de produtividade da cultura ao longo do ciclo vegetativo;

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1 Fileira do Azeite, presente e futuro

Segundo o Conselho Oleícola Internacional (COI, 2015), a área mundial de olival compreende diferentes tipos de sistemas de produção:

- S1- Olival tradicional de sequeiro em socalcos- olivais em sequeiro com inclinação >20% e <180 árvores/ha;
- S2- Olival tradicional de regadio em socalcos- olivais em regadio com inclinação >20% e <180 árvores/ha;
- S3- Olival tradicional de sequeiro em socalcos moderados- olivais em sequeiro com inclinação <20% e <180 árvores/ha;
- S4- Olival tradicional de regadio em socalcos moderados- olivais em regadio com inclinação <20% e <180 árvores/ha;
- S5- Olival intensivo de sequeiro- Olival em sequeiro com 180-800 árvores/ha;
- S6- Olival intensivo de regadio- Olival em regadio com 180-800 árvores/ha;
- S7- Olival superintenso de regadio- Olival em regadio com > 800 árvores/ha.

Apesar de na Europa, países como Espanha, Itália, Portugal e Grécia serem responsáveis por 99% da produção de azeite e por 2/3 da produção mundial (Maya, 2019), prevê-se que nos próximos anos a produção de azeite se caracterize por um aumento continuado da produção mundial. Este ficará a dever-se não só a um aumento da área plantada, sobretudo nos novos países produtores como a Austrália ou os Estados Unidos da América, mas também a um aumento significativo da produtividade dos olivais, fruto da introdução de novas tecnologias de produção, de novas variedades mais produtivas e de um maior controlo sobre todo o ciclo produtivo (Matos, 2017).

A nível mundial, Portugal é considerado o 8º maior produtor mundial de azeitona. As previsões apontam para uma subida na produção nacional muito por consequência de novas áreas plantadas, colocando Portugal como o 5º maior produtor mundial num período de 10 anos (Silva et al., 2020).

Apesar desta tendência, o Conselho Oleícola Internacional (COI, 2015) identifica o olival tradicional de sequeiro em socalcos como o sistema de produção com maior expressividade (33%), seguido do olival tradicional de sequeiro em socalcos moderados (30%) e o olival intensivo de regadio (18%). Os sistemas menos frequentes são o olival tradicional de regadio em socalcos (0,6%) e o superintensivo (4%).

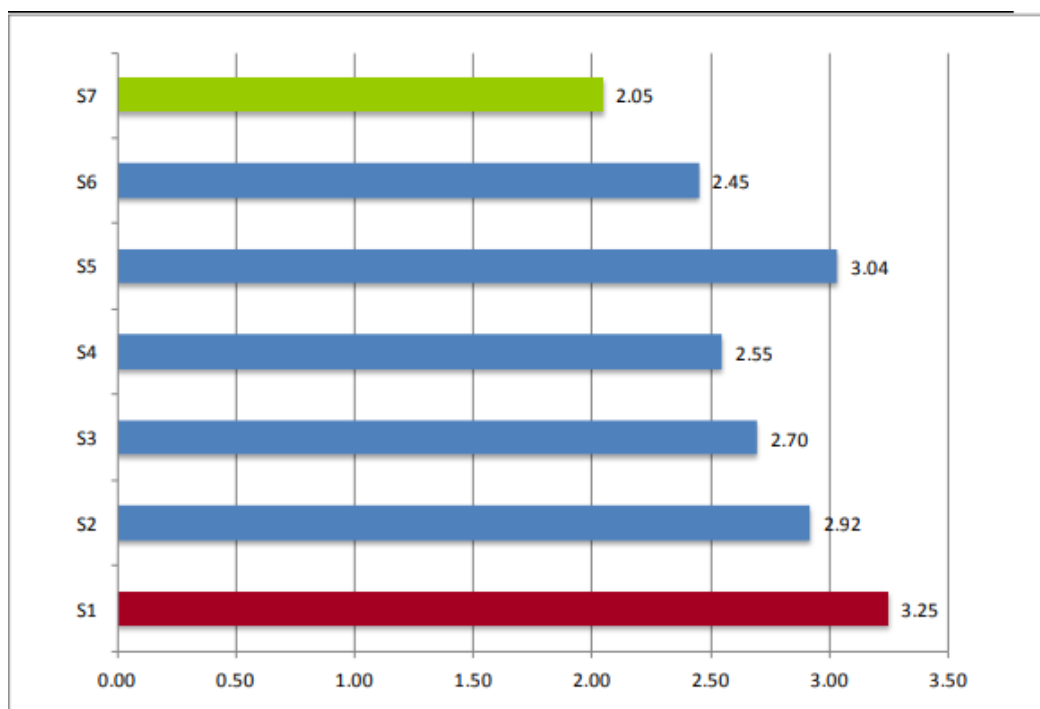
Com a exceção de Israel, os menores níveis de mecanização são observados nos países da zona sul do mediterrâneo, em sistemas tradicionais de condução da cultura e onde predominam as variedades autóctones de oliveira, enquanto os níveis mais elevados de mecanização estão associados às novas variedades plantadas em sistemas intensivos e superintensivos.



No que toca à produção, esta tem maior destaque nos países situados na zona sul do mediterrâneo, sendo que em condições de sequeiro a produção de azeite é bastante mais significativa em países do mediterrâneo oriental que nos países do mediterrâneo ocidental. Devido à intensificação que se verifica no setor olivícola a produtividade apresenta um crescimento linear, onde a média de todos os sistemas e países combinados ronda os 816 kg azeite/ha, sendo Israel, Albânia e Argélia os países com maior produção unitária, contrastando com Itália, Marrocos e Tunísia que apresentam os valores mais baixos.

Com a intensificação clara da cultura do olival, os custos de produção têm vindo a aumentar. Estes custos correspondem a 84% do custo total para a produção de azeite, sendo os restantes 16% distribuídos pelo transporte e processamento, o que manifesta a clara importância da sua otimização. Os custos de processamento de azeite são influenciados pelo tamanho do lagar, apresentando valores que variam entre 0,16€/kg (Uruguai) e 0,03€/kg (Espanha). Atualmente em Portugal, este valor situa-se entre 0,05€/kg e 0,03€/kg, dependendo da variedade (Ferreira, 2019).

Os Sistemas de produção mais intensivos (olival em copa) ou mesmo superintensivos (olival em sebe), apesar de apresentarem custos de produção superiores, conseguem maiores produções, resultando num custo por unidade de azeite menor que os modelos tradicionais de produção em sequeiro (Figura 1).

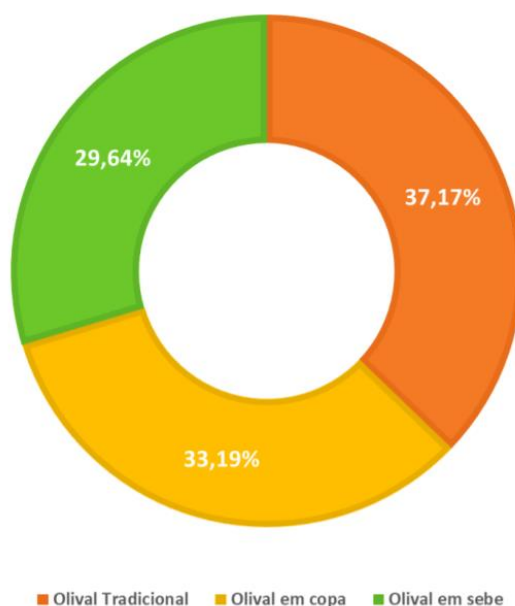


**Figura 1 - Custos de Produção (€) por kg/azeite em diferentes sistemas de condução (COI, 2015)**

Como forma de intensificar a produção através do maior aproveitamento da área de solo ocupada, tem-se assistido nas últimas décadas à instalação de oliveais intensivos com compassos mais apertados, em densidades superiores a 200 árvores por hectare, maioritariamente regados e com produtividades a rondar os 7000 kg a 9000 kg/ha (Pereira, 2017), sendo que os custos principais deste tipo

de sistema, distribuem-se entre a colheita (30%), seguido pela rega (18%), poda e fertilização (ambas com 15%).

Em Portugal, a área de olival por tipologia é a apresentada na Figura 2.



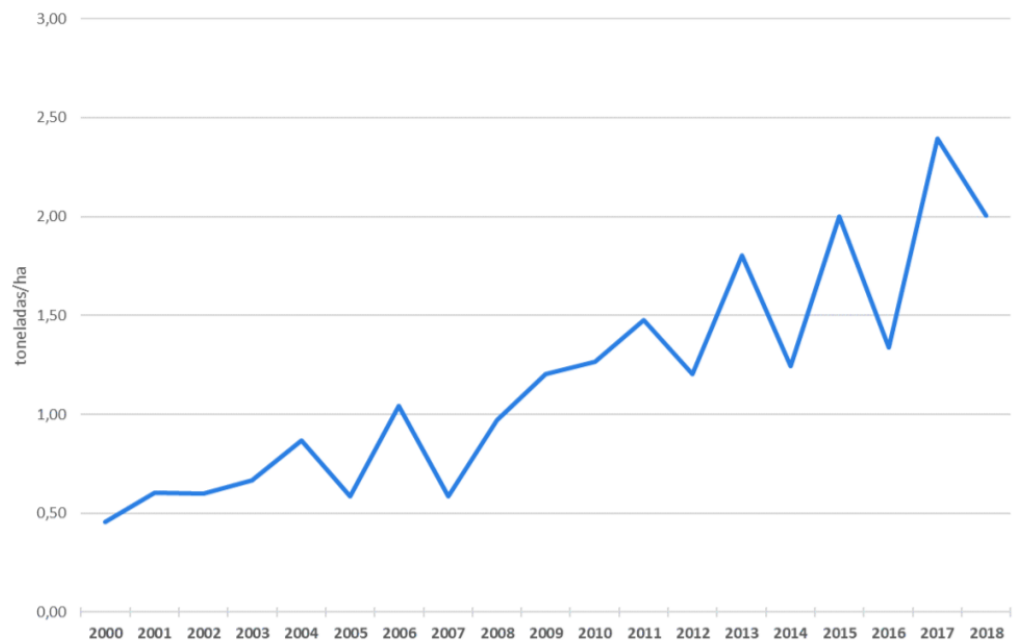
**Figura 2 - Área de olival por tipologia em Portugal (Vilar et al., 2019)**

Ao longo dos últimos 20 anos, a área de olivais de azeitona para azeite cresceu em média 0,2% ao ano, com um aumento de 7% na região do Alentejo entre 2010 e 2018, resultado do desenvolvimento de infraestruturas de rega do Alqueva. O aumento da produção em Portugal (Figura 3), para valores médios que tenderão a situar-se acima das 100 mil toneladas/campanha, representa um aumento superior a 300% em relação à média da produção nos anos 90 do século passado (Matos, 2017), sendo que as exportações nacionais, atingindo em 2017 um valor de produção de 132 000 toneladas, colocam Portugal como o 5º maior exportador mundial de azeite (Martins, 2019).

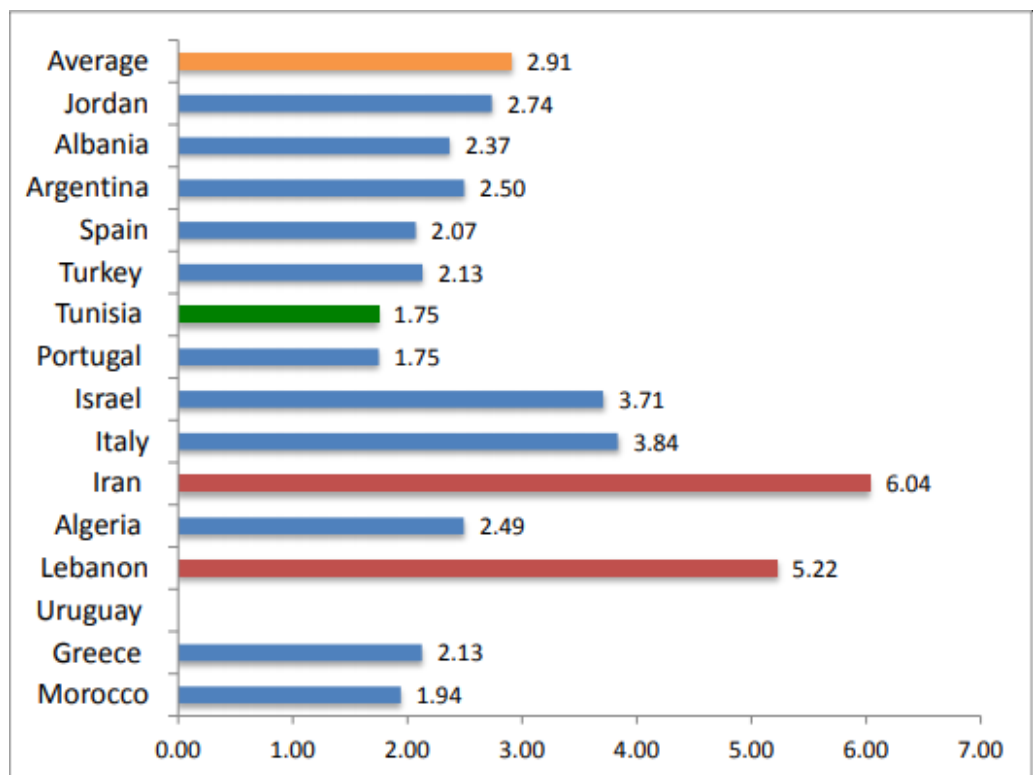
Em 2015, o grau de especialização da cultura em Portugal em sistemas intensivos de produção já se refletia num custo de produção (Figura 4) competitivo face a outros países fruto, entre outros, dos investimentos em mecanização e novas tecnologias (Barroso et al., 2013; Conceição e Mondragão-Rodrigues, 2020).

O principal desafio com que a agricultura portuguesa vai ser confrontada nos próximos anos será fazer crescer de forma sustentada o respetivo valor acrescentado em condições economicamente competitivas, ambientalmente sustentáveis e territorialmente equilibradas (Avillez e Carvalho, 2015). No caso da olivicultura moderna, as metas da PAC pós 2020 assentes na *Estratégia do Prado ao Prato* e a necessidade de intensificação sustentável da produção, sugerem a aposta na inovação e na digitalização do setor capaz de monitorizar o ciclo de desenvolvimento da cultura e dos fatores de produção em tempo real que conduzam à contenção do uso da água, melhoria das condições do solo, redução da aplicação de fitofármacos e fertilizantes, promoção da biodiversidade

e mais sequestro de carbono (União Europeia, 2020), simultaneamente criando azeites de melhor qualidade.



**Figura 3 - Evolução da produtividade média (ton/ha) de azeitona em Portugal no período 2000 a 2018 (INE, 2019)**



**Figura 4 - Custos de Produção (€) por kg/azeite em sistemas intensivos de regadio (COI, 2015)**

## 2.2 Olival, itinerário técnico e estados fenológicos

Do ponto de vista da técnica de cultivo, são especialmente importantes a escolha da variedade, a fertilização, a rega, a colheita e a proteção fitossanitária (Fal20) (Silva et al., 2020).

Em termos de rega, o cultivo da oliveira não requer um consumo muito elevado de água, variando, consoante o sistema de produção adotado e a disponibilidade de água, entre 3000 e 5000 m<sup>3</sup>/ha. Dos pontos de vista da nutrição e das necessidades de fertilização é de notar que a oliveira é especialmente exigente em azoto, potássio, cálcio e boro. A adubação deve ser realizada de forma repartida ao longo do ciclo, cerca de 50% do total da fertilização deverá ser feita em 3 meses, se possível por fertirrigação, ajustando as quantidades de nutrientes aplicadas em função da fase do ciclo vegetativo em que as plantas se encontram. O olival adapta-se bastante bem a sistemas de rega deficitária, tirando partido da adaptação da espécie a condições de menor conforto hídrico.

Independentemente do sistema de produção, o itinerário cultural do olival é constituído por 5 grupos de operações (Seabra, 2018):

- Poda e destroçamento de resíduos da poda;
- Manutenção da cobertura da entrelinha e linha (em olivais com enrelvamento);
- Tratamentos foliares;
- Rega e/ou fertirrega;
- Colheita e transporte

A Figura 5 mostra a distribuição das operações mais comuns do itinerário cultural de um olival (no Alentejo) com enrelvamento ao longo do ano, dependendo da variedade.

|     | Poda | Manutenção<br>coberto vegetal | Tratamentos<br>Foliares | Rega | Colheita |
|-----|------|-------------------------------|-------------------------|------|----------|
| Jan |      |                               | Variável                |      |          |
| Fev |      |                               |                         |      |          |
| Mar |      |                               |                         |      |          |
| Abr |      |                               |                         |      |          |
| Mai |      |                               |                         |      |          |
| Jun |      |                               |                         |      |          |
| Jul |      |                               |                         |      |          |
| Ago |      |                               |                         |      |          |
| Set |      |                               |                         |      |          |
| Out |      |                               |                         |      |          |
| Nov |      |                               |                         |      |          |
| Dez |      |                               |                         |      |          |

**Figura 5 - Distribuição das operações ao longo do ano**

A operação da poda (de manutenção) consiste na remoção de partes da planta através do corte, para renovar a estrutura vegetativa e estimular a floração e a frutificação. A poda deve permitir manter um bom equilíbrio entre a função vegetativa e reprodutiva ao longo dos anos, assegurando produção regular de

azeitona. A poda mecânica está a ser introduzida nas principais regiões olivícolas do mundo para obviar falta de mão-de-obra e redução de custos (Rodrigues e Correia, 2009). Os restos de poda são então processados mecanicamente por destroçadores para incorporação no solo (para aumentar a matéria orgânica) ou retirados do olival para diferentes fins, nomeadamente o de fornecimento de biomassa para produção de energia.

Os tratamentos foliares têm como objetivos o combate a pragas e doenças do olival e a fertilização da cultura. O número de tratamentos é muito variável, dependendo das condições do ano meteorológico que podem determinar em maior ou menor número o aparecimento de pragas e doenças, dos seus ciclos e da suscetibilidade das variedades de oliveira em questão. As operações de fertilização variam com o tipo de solo, e com nível de nutrientes no solo e na planta, conhecidas por análises de solo e foliares, respetivamente.

Em olivais regados, a dotação de rega dependerá de fatores como o tipo de solo, a precipitação anual, temperatura, idade do olival e produção (Navero et al., 1996). O sistema de rega mais frequente é a rega gota-a-gota, existindo 3 períodos críticos em que a oliveira necessita de água em maior quantidade: na prefloração, para que haja uma taxa de vingamento elevada; do início do crescimento do fruto ao endurecimento do caroço, de modo a reduzir a queda dos frutos; e à maturação, fornecendo água suficiente para o desenvolvimento dos frutos e acumulação de reservas necessárias à produção do ano seguinte (Sousa, 2015). Valores de referência para as dotações de rega em sistema gota-a-gota na cultura do olival nas regiões do Ribatejo, Alentejo e Algarve são de 1760 m<sup>3</sup>/ha ano para o sistema tradicional, 3487 m<sup>3</sup>/ha ano para o sistema intensivo e 5192 m<sup>3</sup>/ha ano para o sistema superintensivo (DGADR, 2018). A operação de rega pode ser complementada pela aplicação de fertilizantes de acordo com análises foliares e a estimativa de produção da cultura.

As operações de manutenção da cobertura na entrelinha e na linha (enrelvamento) têm como objetivo evitar a competição por água e nutrientes com a cultura e evitar a erosão. Para tal, pode recorrer-se à monda química ou mecânica do enrelvamento. Mais frequentemente recorre-se a uma monda química na linha e ao corte mecânico da vegetação na entrelinha. A cobertura na entrelinha quando existente é uma técnica de agricultura de conservação que previne a erosão do solo e o escoamento superficial da água da chuva, e ainda facilita a passagem das máquinas pela redução do efeito de compactação que aquelas têm sobre o solo (Seabra, 2018). Em sistemas convencionais de condução da cultura com mobilização do solo, as operações de controlo de plantas infestantes são realizadas por grades de discos tanto na linha como na entrelinha.

A operação de colheita, apesar de em alguns olivais ainda ser realizada de forma manual, é cada vez mais mecanizada com recurso a varejadores, máquinas automotrizes ou vibradores de tronco acoplados a tratores agrícolas, decorrendo em regra entre os meses de novembro e janeiro dependendo das variedades, da região e da finalidade da azeitona (Barroso et al., 2005). A colheita deve começar antes do início da queda natural do fruto e decorrer até que esta queda não supere os 10-15% da produção.



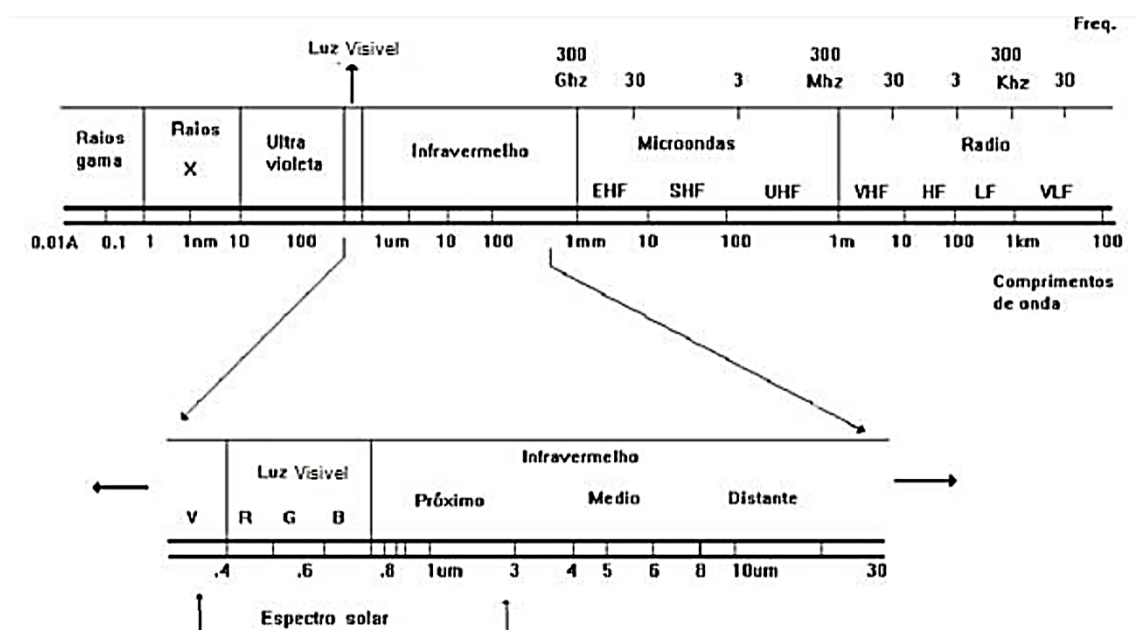
à senescência, correspondente aos valores 70 a 90 da escala) cuja intensidade é enfraquecida quando existem muitos frutos em crescimento.

A determinação do momento ótimo de colheita deverá ocorrer na fase final da maturação, (correspondente ao intervalo de valores 80 a 89 da escala), dependendo de fatores como o índice de maturação, acumulação de gordura, força de retenção do fruto ou destaque, e o estado sanitário (Cordeiro, 2014).

## 2.3 Tecnologias aplicadas ao olival

### 2.3.1 Detecção remota – sensores óticos

A Detecção Remota (DR) é um tipo de tecnologia cuja primeira definição científica aparece na literatura em 1960 referindo-se à aquisição de informações sem contacto físico com os objetos (Novo e Ponzoni, 2001). No caso da DR aplicada à agricultura é uma técnica que permite o uso de sensores para avaliar à distância o estado das culturas, objetivo este que se pretende aplicado a grandes áreas de observação. Neste processo todos os materiais à superfície da Terra com temperatura superior a 0°K, interagem através de um conjunto de ondas elétricas e magnéticas cujas várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda, compõem o espectro eletromagnético (Figura 7).



**Figura 7- Espectro eletromagnético com realce para os comprimentos de onda da radiação da luz visível e do Infravermelho (Novo e Ponzoni, 2001)**

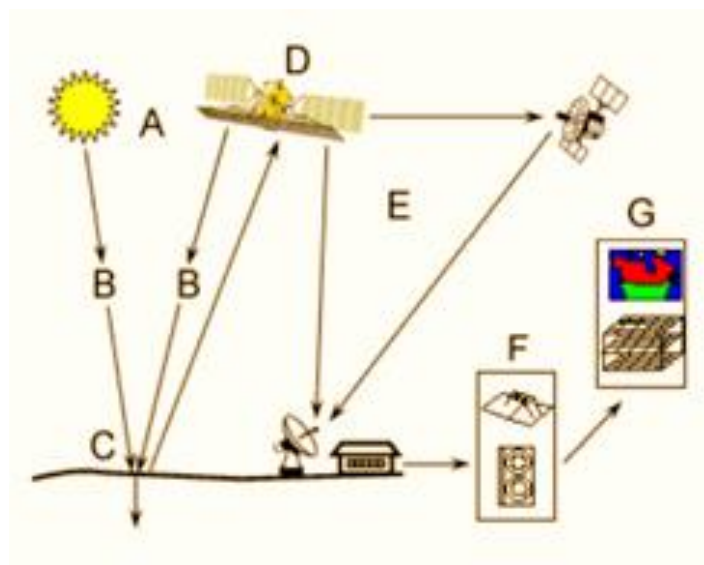
Dentro dessas regiões do espectro, as mais utilizadas em DR são: o espectro visível e infravermelho próximo (reflexão da radiação solar); infravermelho térmico (emissão terrestre); micro-ondas (emissão e receção emitida pelo sensor) (Silva et al., 2020).

Uma fonte de emissão emite uma radiação que interage com o objeto alvo ou outro tipo de sensores, cujas ondas eletromagnéticas são recebidas por



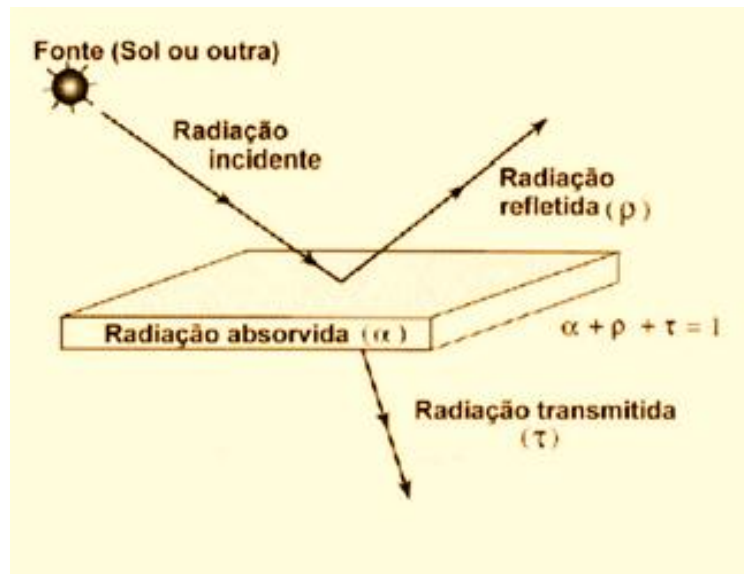
instrumentos instalados numa plataforma e convertidas em imagens mediante processos digitais e interpretadas de acordo com diferentes tipos de índices.

A interação entre essa radiação e os objetos de estudo, além de depender das condições atmosféricas, pode ocorrer na forma de reflexão, refração, difração ou absorção, sendo que para cada tipo de detecção são utilizadas as faixas de frequência mais adequadas, que produzem maior diferenciação entre os alvos estudados e o seu ambiente, ou entre diferentes objetos alvos de interesse (Figura 8 e 9).



**Figura 8 - Componentes da Detecção remota (Molin, Ferraz e Cassino, 2017): A) fonte de energia ou iluminação; B) Interação entre a radiação e a atmosfera terrestre; C) interação com o alvo; D) recepção da energia refletida pelo corpo transmissor; E) transmissão, recepção e processamento de imagem; F) interpretação e análise; G) aplicações.**

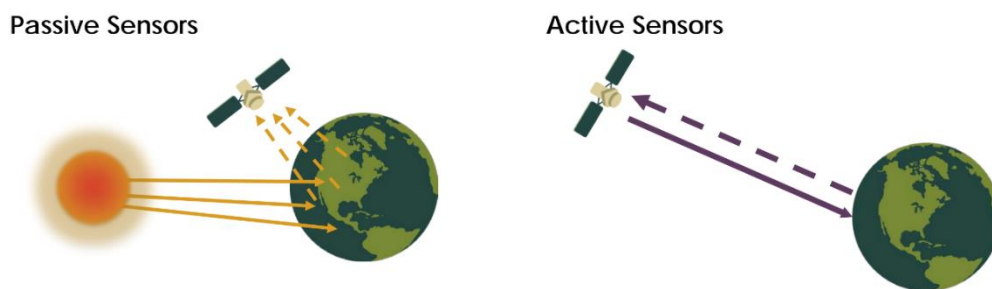




**Figura 9 - Interação da radiação eletromagnética com um objeto (Molin, Ferraz e Cassino, 2017)**

A operacionalização do processo faz-se através do uso de sensores digitais próximos, sensores montados a bordo de plataformas aéreas para voos de baixa altitude ou sensores em satélites para voos orbitais, que permitem a captação periódica de dados sinóticos da Terra, e o subsequente processamento em imagens para análise desta informação (Sousa e Silva, 2011).

De acordo com o princípio de funcionamento, existem 2 tipos de sensores: ativos e passivos (Figura 10).



**Figura 10 - Ilustração do princípio de um sensor passivo e de um sensor ativo (NASA, 2021)**

Os sensores passivos detetam a radiação solar refletida a partir da terra e a radiação térmica nos comprimentos de onda visíveis e de infravermelhos do espectro eletromagnético. Estes sensores não emitem a sua própria radiação, recebendo apenas a luz natural e radiação de calor refletida pela superfície da Terra. Desta forma reúnem simultaneamente bandas espectrais estreitas capazes de criar imagens multiespectrais ou hiperespectrais que permitem diferentes interpretações (Silva et al., 2020), como os sensores que equipam a constelação de satélites Sentinel-2 da Agência Espacial Europeia (ESA).

Os sensores ativos emitem um sinal eletromagnético para poder receber a radiação refletida pela superfície terrestre, criando dados e informação a partir da morfologia do território em função dos ecos refletidos com a sua rugosidade, disposição e ângulo. Estes satélites de radiação eletromagnética irradiam em comprimentos de onda longos (micro-ondas) portanto, podem realizar monitorizações sem a luz do sol e quase não são afetados por condições do tempo, nuvens, poeira, neblina, vento e clima. São exemplo deste tipo de sensores a tecnologia de detecção e telemetria por rádio RADAR (Radio Detection And Ranging) que equipa os satélites Sentinel-1A, Sentinel-1B, Sentinel-2A e Sentinel-2B do programa Copérnico da ESA.

Relativamente às imagens obtidas por DR, estas são caracterizadas por quatro tipos diferentes de resolução (IPMA, 2021):

- (i) Resolução espacial, que se refere ao tamanho do *pixel* que no sensor pode medir e ou identificar, sendo que o tamanho do *pixel* varia com a projeção geométrica Campo de Visão Instantânea do instrumento na superfície da Terra;
- (ii) Resolução espectral, que indica o número e largura dos intervalos do espectro eletromagnético em que é feita a aquisição de imagens pelo sensor. Quanto mais estreitos e numerosos os intervalos, maior é a resolução espectral, sendo assim mais fácil distinguir objetos registados nas imagens;
- (iii) Resolução temporal, associada ao tempo que medeia entre duas observações sucessivas do mesmo local;
- (iv) Resolução radiométrica, caracterizada pela precisão das medidas do sensor num dado canal.

Com a finalidade de uso de DR com acesso livre aberto a imagens de satélite, a União Europeia em parceria com a ESA desenvolveu o programa Copérnico de observação da Terra. A missão é composta por pares de satélites especializados adequados a temas de interesse distintos. Os satélites Sentinel-1 foram lançados em 2014 com o intuito da sua aplicação no monitoramento terrestre e oceânico, possuindo ainda sensores de radar. Posteriormente o par de satélites Sentinel-2 foi direcionado ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras e é dotado com sensor ótico de alta resolução espacial. Já a terceira série é adequada ao monitoramento marinho e carrega sensores óticos, radares adequados a esse fim. As séries 4 e 5 são aplicadas ao monitoramento da qualidade do ar (Figura 11). Já em 2020 foi lançado o primeiro satélite da constelação Sentinel-6 para monitorização do nível do mar.

| Missão Sentinel            |                              |                          |                          |                          |                         |                         |                       |
|----------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Instituições Responsáveis  | ESA (European Space Program) |                          |                          |                          |                         |                         |                       |
| País/Região                | Europa                       |                          |                          |                          |                         |                         |                       |
| Satélite                   | SENTINEL-1A                  | SENTINEL-1B              | SENTINEL-2A              | SENTINEL-2B              | SENTINEL-3A             | SENTINEL-3B             | SENTINEL-5P           |
| Lançamento                 | 03/04/2014                   | 22/04/2016               | 23/06/2015               | 07/03/2017               | 16/02/2016              | 25/04/2018              | 13/10/2017            |
| Local de Lançamento        | Kourou (Guiana Francesa)     | Kourou (Guiana Francesa) | Kourou (Guiana Francesa) | Kourou (Guiana Francesa) | Khrunichev Space Center | Khrunichev Space Center | Plesetsk Cosmodrome   |
| Veículo Lançador           | Soyuz                        | Soyuz                    | Vega                     | Vega                     | Rocket/Briz-KM          | Plesetsk Cosmodrome     | Rocket                |
| Situação Atual             | ativo                        | ativo                    | ativo                    | ativo                    | ativo                   | ativo                   | ativo                 |
| Órbita                     | polar, heliossíncrona        | polar, heliossíncrona    | polar, heliossíncrona    | polar, heliossíncrona    | polar, heliossíncrona   | polar, heliossíncrona   | polar, heliossíncrona |
| Altitude                   | 693 km                       | 693 km                   | 786 km                   | 705 km                   | 815 km                  | 815 km                  | 824 km                |
| Inclinação                 | 98,18°                       | 99,2°                    | 98,5°                    | 98,20°                   | 98,6°                   | 98,6°                   | 98,74°                |
| Tempo de Duração da Órbita | 97,7 min                     | 97,2 min                 | 97,2 min                 | s.d.                     | s.d.                    | s.d.                    | s.d.                  |
| Horário de Passagem        | 6:00 P.M.                    | 6:00 P.M.                | 10:30 A.M.               | 09:45 A.M.               | 10:00 A.M.              | 10:00 A.M.              | 13:30 P.M.            |
| Período de Revisita        | 12 dias                      | 12 dias                  | 5 dias                   | 5 dias                   | 27 dias                 | 27 dias                 | 16 dias               |
| Tempo de Vida Projetado    | 12 anos                      | 12 anos                  | 12 anos                  | 12 anos                  | 7 anos                  | 7 anos                  | 7 anos                |
| Instrumentos Sensores      | SAR                          | SAR                      | SAR e MSI                | SAR e MSI                | OLCI e SLSTR            | OLCI e SLSTR            | TROPOMI               |

**Figura 11 - Resumo das características da Missão Sentinel (Embrapa, 2021)**

Para o objetivo do estudo da superfície terrestre e agricultura destacam-se as constelações Sentinel-2 e Sentinel-1. A primeira compreende uma constelação de dois satélites em órbita polares, colocados na mesma órbita, sincronizada com o sol, com fases a 180 ° entre si e alto tempo de revisita – resolução temporal de 10 dias no equador com um satélite e 5 dias com 2 satélites em condições sem nuvens, o que resulta em 2-3 dias em latitudes médias. Está equipado com um sensor Multiespectral Instrument (MSI) e um sensor SAR.

O sensor MSI, a bordo do satélite Sentinel-2, permite a determinação de índices espectrais a partir de um conjunto de treze bandas espectrais, sendo quatro com resolução espacial de 10 m, seis de 20 m e três bandas com 60 m (Gomes, 2017).

O sensor SAR permite a realização de imagens de RADAR independentemente das condições meteorológicas para diferentes planos de polarização Horizontal (H) e Vertical (V), de HH+HV, VV+VH e HH com uma resolução espacial de 5 metros.

A missão Sentinel-1 compreende uma constelação de dois satélites em órbita polar com resolução temporal de 5 a 6 dias, operando dia e noite, equipado com um sensor SAR a operar na banda C conforme descrito no parágrafo anterior.

No seu conjunto este programa faculta enormes possibilidades da observação da superfície terrestre, em particular no que respeita ao uso em agricultura proporcionando o acesso a imagens de qualquer tipo de parcela, informações relevantes do estado da cultura através da observação de diferentes índices vegetativos que facilitam a avaliação do coberto vegetal e facilitam o processo de decisão na correção de situações indesejadas.

### 2.3.2 Índices de vegetação

Os índices de vegetação são algoritmos desenvolvidos a partir dos dados espectrais das culturas obtidos por detecção remota. O seu objetivo é correlacionar num determinado momento e/ou num determinado local o valor obtido com a variável em estudo da cultura, e assim avaliar sobre a sua variação no tempo ou no espaço sobre essa variável (Beltrame et al., 2007).

A radiação refletida em função do comprimento de onda é denominada assinatura espectral da superfície a qual permite em cada momento a diferenciação de diferentes objetos (Moreira et al., 2017). No caso das plantas verdes a assinatura espectral é muito característica. A clorofila numa planta em crescimento absorve a luz visível e, em especial a luz vermelha para ser usada na fotossíntese, enquanto a luz dos infravermelhos próximos é refletida de forma eficaz já que não tem qualquer utilidade para a planta. Deste modo, as plantas evitam o aquecimento desnecessário e a perda de água através da evaporação. Por isso, a radiação refletida pela vegetação nas gamas de infravermelhos próximos e visíveis do espectro varia consideravelmente. O grau de diferença indica a extensão de área coberta com folhas verdes em crescimento (índice de zona de folhas).

O Quadro 1 mostra em resumo alguns dos índices de vegetação usados em culturas agrícolas (Moreira, 2001).

RVI, RACIO ou Ratio Vegetation Index é um dos primeiros índices vegetativos a ser desenvolvido (Person e Miller, 1972) para separar vegetação verde de solo utilizando Imagem Landsat – MSS. É produzido por uma simples divisão de valores de refletância presentes em bandas do infravermelho próximo por aqueles contidos na banda do vermelho. O resultado deteta o contraste entre a banda vermelha e a infravermelha para *pixels* da vegetação com valores de índices elevados que são produzidos por combinações de refletância baixas no vermelho (por causa da absorção da clorofila), e altas no infravermelho (em consequência da estrutura da folha). Sendo um índice construído como uma relação, os problemas de iluminação variável decorrentes da topografia e das condições de iluminação solar são minimizados. Contudo, o índice é suscetível a erros pela divisão por zero e a escala resultante da medida pode não ser linear, não tendo distribuição normal e assim poder ser de difícil utilização estatística (Eastman et al., 1988).

**Quadro 1 - Exemplos de Índices de vegetação usados em agricultura**

| Índice | Referência           | Ano  | Definição                                                                                          |
|--------|----------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RVI    | Person e Miller      | 1972 | $IVP/V$                                                                                            |
| NDVI   | Deering et.al        | 1975 | $(IVP-V) / (IVP+V)$                                                                                |
| NDWI   | Gao                  | 1996 | $(IVP - IVM) / (IVP + IVM)$                                                                        |
| SAVI   | Huete                | 1988 | $[(IVP-V) / (IVP+V+L)] \times (1+L)$                                                               |
| TSAVI  | Baret et al.         | 1989 | $[IVP - (a \times V) - b] \sqrt{a^2 + 1}$                                                          |
| PVI    | Richardson e Wiegand | 1977 | $[a \times (IVP - a \times V - b)] / \{[a \times IVP] + r - [a \times b] + [X \times (1 + a^2)]\}$ |
| WDVI   | Baret e Guyot        | 1991 | $IVP - (a \times V)$                                                                               |

RVI – Ratio Vegetation Index; NDVI – Normalized Difference Vegetation Index; NDWI – Normalized Water Index; SAVI – Soil Adjusted Index; TSAVI – Transformed Soil Adjusted Vegetation Index; PVI – Perpendicular Vegetation Index; WDVI – Weighed Vegetation Index; IVP -Infravermelho próximo; V-Vermelho; IVM – Infravermelho médio; L – Fator de ajuste ao solo; a- Linha de interseção com o solo; b – Declive (adaptado Moreira, 2001)

Os índices SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) e TSAVI (SAVI transformado) foram criados para mitigar o impacto da reflexão do solo. O SAVI é composto de um fator de ajuste do solo (L) à equação dos índices NDVI para corrigir os efeitos do ruído resultantes da cor, humidade ou variabilidade do solo entre regiões, que tendem a afetar os resultados. O TSAVI é um índice que junta ao anterior o facto de que a linha do solo tem uma inclinação e intercetção arbitrárias.

Recomenda-se o uso do SAVI para análise de culturas jovens, para regiões áridas com vegetação esparsa (menos de 15% da área total) e superfícies de solo expostas (EOS, 2021).

O PVI (Perpendicular Vegetation Index) é semelhante a um índice de vegetação de diferença normalizada que dá uma indicação da cobertura vegetal independente dos efeitos do solo ainda que sensível às variações atmosféricas. Ao usar este método para comparar imagens diferentes, ele deve ser usado apenas em imagens que foram corrigidas atmosféricamente.

O WDVI (Weighted Difference Vegetation Index) pode ser usado para estimar o índice de área foliar da vegetação verde, oferecendo uma boa correção para o fundo do solo. É recomendado usar em cereais na fase vegetativa.

### 2.3.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI é um dos índices mais frequentemente utilizados em agricultura, que opera em comprimentos de onda entre o infravermelho próximo (NIR) e a faixa espectral na região do vermelho (RED) (800nm e 680nm respetivamente), sendo usado essencialmente na caracterização do vigor vegetativo e coberto vegetal (Rouse & al, 1973). Isto porque, o pigmento de clorofila na planta saudável absorve a maior parte da luz vermelha visível, embora a estrutura celular de uma planta reflita a maior parte da luz quase infravermelha. Isto significa que a atividade fotossintética elevada, normalmente associada à vegetação densa, terá menos refletância na banda vermelha e maior refletância na banda infravermelha próxima. Olhando para a forma como estes valores se comparam

entre si, é possível detetar e analisar de forma fiável a cobertura vegetal separadamente de outros tipos de cobertura natural do solo (EOS, 2021).

Este índice tem ganho expressividade e relativa importância no que toca a estimativas de produtividade, estando a sua variação relacionada com diferentes causas observadas, como situações de déficits hídricos, pragas e doenças, observação do índice de área foliar, observação do estado de maturação das culturas e aplicação de fertilizantes.

O NDVI é calculado através da fórmula seguinte:

Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

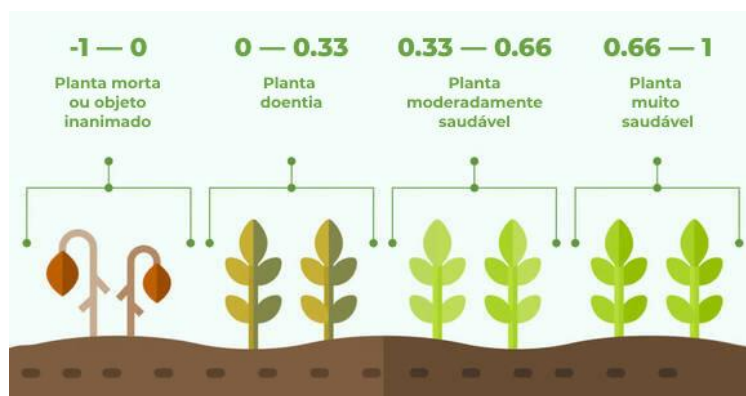
Em que:

NIR – Faixa espectral na região do infravermelho próximo.

Red – Faixa espectral na região do vermelho.

Os valores de NDVI variam entre -1 e 1, sendo que valores negativos estão associados a massas de água, nuvens e neve, pois possuem refletâncias maiores na banda do vermelho em relação ao infravermelho próximo, os valores positivos próximos a 0 (zero) estão relacionados a solos expostos, devido aos valores similares de refletância nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo, e valores positivos relacionam-se com a vegetação mais vigorosa e densa, quando mais próximo do valor de 1 se encontrar (Lissner e Guasselli, 2013).

Uma possível classificação da causa efeito para diferentes classes de NDVI é apresentada na Figura 12.



**Figura 12 - Possível causa efeito para diferentes classes de valor do índice NDVI (EOS, 2021)**

O NDVI é um índice possível de se obter por detecção remota próxima através de sensores de mão ou montados em veículos aéreos tripulados e não tripulados, mas também por detecção remota a partir de sensores instalados em Satélites. No programa Copérnico da ESA o índice NDVI obtido a partir da constelação Sentinel-2, com resolução temporal de 5 a 10 dias, e resolução espacial de 10m.

### 2.3.2.2 Índice de Diferença da Água Normalizado (NDWI) de Gao

O Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI) é utilizado na caracterização do conteúdo de água na vegetação/solo (McFeeters, 1996). A sua utilização faz-se pela combinação das bandas verde e infravermelho próximo (NIR), recomendando-se a sua utilização para deteção de terras agrícolas inundadas, deteção de terras agrícolas irrigadas ou atribuição de zonas húmidas. O valor resultante do cálculo do NDWI varia de -1 a 1, sendo o zero definido como o limiar. Ou seja, o tipo de cobertura é considerado água se o valor de  $NDWI \geq 0$  e não é considerada água se  $NDWI \leq 0$  (Brubacher e Guasselli, 2013).

Uma vez que o índice NDWI mede eficazmente o teor de humidade, é frequentemente comparado com o índice NDMI (Normalised Difference Moisture Index), também conhecido como NDWI de Gao (EOS, 2021). Este opera em comprimentos de onda entre 860 nm e 1240 nm e é calculado através da fórmula seguinte:

Equação 2:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Em que:

NIR – Faixa espectral na região do infravermelho próximo.

SWIR – Faixa espectral na região do infravermelho de onda curta

O infravermelho de onda curta (SWIR) reflete as mudanças no conteúdo de água da planta, enquanto a refletância do infravermelho próximo (NIR) é afetada pela estrutura interna da folha e pelo conteúdo de matéria seca da mesma. Essa combinação entre o teor de água na planta determinado pelo SWIR e o teor de matéria seca dado pelo NIR é que irá indicar a variação do teor de água da vegetação (JRCEC, 2011).

Este opera em os comprimentos de onda entre os 860 nm e 1240 nm. Como resultado, o NDWI é sensível a alterações nos conteúdos de água nas folhas das plantas (Marques, 2018). Desta forma, e ainda que este índice possa variar ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura, porque a refletância das plantas é ligeiramente diferente para cada fase fenológica, pode detetar o *stress* hídrico numa fase antecipada antes de o problema se ter descontrolado. Para colmatar esses inconvenientes deve-se monitorizar a irrigação, especialmente em áreas onde as culturas requerem mais água que a precipitação anual fornece, contribuindo significativamente para o crescimento das culturas e tornando o índice particularmente interessante e complementar ao NDVI.

O Índice varia de -1 a 1, podendo ter a seguinte interpretação (EOS, 2021):

- -1 a -0.8 - Solo descoberto;
- -0.8 a -0.6 - Quase ausência de cobertura de copas;
- -0.6 a -0.4 - Cobertura muito baixa de copas;
- -0.4 a -0.2 - Cobertura de copas baixa e seca ou muito baixa e húmida;



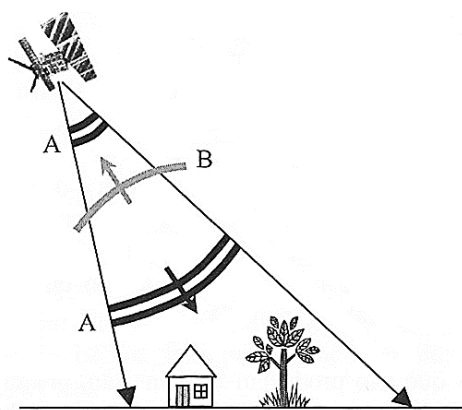
- -0.2 a 0 - Cobertura média-baixa e stress hídrico elevado ou cobertura baixa e baixo estresse hídrico;
- 0 a 0.2 - Cobertura média de copas e stress hídrico elevado ou cobertura média-baixa e stress hídrico baixo;
- 0.2 a 0.4 - Cobertura de copas média-alta e stress hídrico elevado ou cobertura média e stress hídrico baixo;
- 0.4 a 0.6 - Cobertura de copas alta, sem stress hídrico;
- 0.6 a 0.8 - Cobertura de copas muito alta, sem stress hídrico;
- 0.8 a 1- Cobertura total de copas, sem stress hídrico/alagamento.

Pelas razões expostas, este é um índice recomendado na monitorização do conteúdo em água das culturas, determinação de zonas ou períodos com *stress* hídrico, gestão da rega, melhorar o planeamento de operações de colheita e determinar os níveis de combustibilidade em áreas propensas ao fogo.

No programa Copérnico da Agência Espacial Europeia o índice NDWI obtido a partir da constelação Sentinel-2, com resolução temporal de 5 a 10 dias, e resolução espacial até 20m.

### 2.3.3 SAR (Synthetic Aperture RADAR)

Contrariamente aos sistemas óticos passivos, a informação possível de se obter de um sensor SAR resulta de uma micro-onda cuja intensidade de reflexão é medida e comparada com a emitida, permitindo identificar a distância do alvo de diferentes objetos à superfície da Terra em qualquer momento do dia e independente das condições meteorológicas (Forkuor et al., 2014; Saraiva, 2015) (Figura 13).



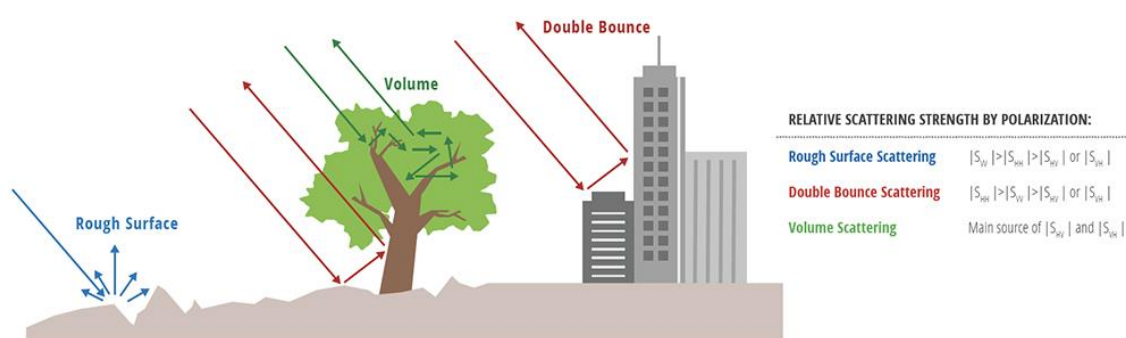
**Figura 13 - Funcionamento de um sistema SAR em que (A) representa a emissão de sinal eletromagnético enviado e (B) a porção reenviada, (Saraiva, 2015).**

A sua importância prende-se também pela informação adicional que pode fornecer dos tipos de coberto do solo e copado das árvores através de imagens óticas (Sousa e Silva, 2011; Saraiva, 2015)



Para isso o radar pode recolher sinais em diferentes polarizações. A polarização refere-se à orientação do plano em que a onda eletromagnética transmitida oscila. Embora a orientação possa ocorrer em qualquer ângulo, os sensores SAR normalmente transmitem polarizações linearmente. A polarização horizontal é indicada pela letra H, e a polarização vertical é indicada por V.

Os sinais emitidos na polarização vertical (V) e recebidos na polarização horizontal (H) são identificados por VH. Alternativamente, um sinal que seja emitido na horizontal e recebido na horizontal é identificado por HH, e assim sucessivamente. A intensidade do sinal dessas diferentes polarizações traz informações sobre a estrutura da superfície da imagem, com base nos seguintes tipos de espalhamento: superfície rugosa, volume e salto duplo (Figura 14).

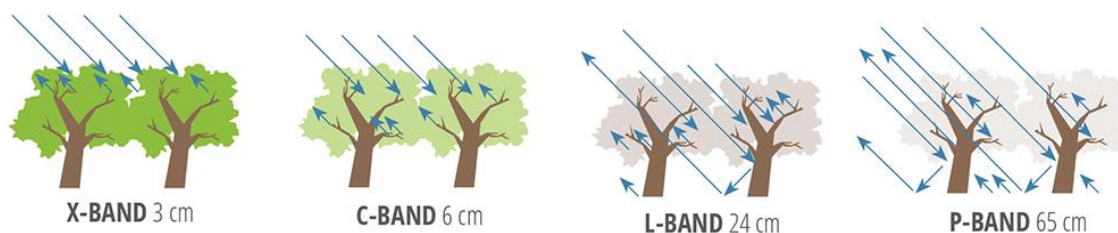


**Figura 14 - Polarização do sinal em função da superfície alvo (NASA, 2021)**

A dispersão numa superfície rugosa, como a causada por solo nu ou água, é mais sensível à dispersão VV. A dispersão de volume, por exemplo, causada pelas folhas e ramos num copado de floresta, é mais sensível a dados de polarização cruzada como VH ou HV. O último tipo de espalhamento, salto duplo, é causado por edifícios, troncos de árvores ou vegetação inundada e é mais sensível a um sinal polarizado HH.

Contudo, é importante notar que a quantidade de sinal atribuída a diferentes tipos de espalhamento pode mudar em função da banda de comprimento de onda da micro-onda (faixa de 1mm a 1m) (Figura 15).

A resolução espacial dos dados está diretamente relacionada à razão entre o comprimento de onda do sensor e o comprimento da antena do sensor numa sequência de aquisições.



**Figura 15 - Sensibilidade das medições de SAR à estrutura das copas das árvores e penetração no dossel em diferentes comprimentos de onda usados para observações de sensoriamento remoto aéreo ou espacial da superfície terrestre (NASA, 2021)**

## 2.4 Digitalização

Digitalização pode entender-se como o processo em que se aplicam as tecnologias digitais para simplificação, melhoria ou automação de operações e/ou processos (Mehta e Vivek, 2001). É algo que de forma constante tem conseguido um lugar à escala global desde os anos 80 e 90, através da incorporação progressiva de tecnologia, funcionando como apoio à execução de diferentes tipos de tarefas e em diferentes setores empresariais e de negócios.

A digitalização precede a transformação digital cujo objetivo é a mudança profunda dos processos, competências e modelos de negócio para tirar o máximo proveito das oportunidades que oferecem as tecnologias digitais (Santos, 2020). Em particular, serve para dotar as empresas com ferramentas que permitam uma tomada de decisões de maneira mais automática e objetiva, a partir da informação digitalizada – dados.

Em agricultura a digitalização é essencial para garantir a competitividade e a sustentabilidade das diferentes fileiras de produção, uma vez que pode reunir grandes volumes de dados que uma vez tratados constituem verdadeiros instrumentos para uma atividade mais produtiva, mas também mais eficiente do ponto de vista ambiental, económica e social, neste caso promovendo a conectividade e criando condições para a inclusão social (Albuquerque, 2019).

Entre outras tecnologias digitais, a Inteligência Artificial (IA), a robótica, o blockchain, a Computação de Alto Desempenho (HPC), a Internet das Coisas (IoT) e a rede 5G têm hoje potencial para aumentar a eficiência das explorações e criar novos métodos e oportunidades de negócio (Bascou, 2019; Pesce et al., 2019) (Figura 16).

|                      |                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Agricultores         | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Aumento da Produção;</li> <li>-Redução de custos de Produção;</li> <li>-Apoios nas tomadas de decisão;</li> <li>-Aumento na melhoria do estado sanitário do efetivo;</li> </ul> |
| Consumidores         | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Acesso em tempo real a dados e informação do produto;</li> <li>-Produtos de melhor qualidade;</li> </ul>                                                                        |
| Autoridades Públicas | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Avaliações meticolosas de explorações e terrenos;</li> <li>-PAC mais eficiente;</li> </ul>                                                                                      |
| Ambiente             | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Redução no consumo de água através do uso de sensores de humidade;</li> <li>-Maior sustentabilidade ambiental e energética;</li> </ul>                                          |

**Figura 16 - Oportunidades resultantes de novas tecnologias digitais em diferentes níveis da cadeia de produção, adaptado (Pesce et al., 2019)**

A importância destes instrumentos é hoje alvo de discussão na Política Agrícola Comum (PAC) pós 2020, com relevo para o seu contributo para a mitigação das alterações climáticas, segurança alimentar e resposta a situações epidemiológicas com a que atualmente vivemos e que alteram de forma profunda os processos de distribuição e canais de comercialização (Alcino et al., 2020).

Com diferentes modalidades de acesso de dados e tratamento de informação, plataformas como o Sentinel Playground, One Soil, Crop monitoring ou Land Viewer, permitem hoje fazer o acompanhamento georreferenciado do desenvolvimento de culturas com a disponibilização de índices vegetativos obtidos por deteção remota e integrar informação de outros sensores como sensores de avaliação do teor de humidade do solo ou informação de estações meteorológicas. Estas funcionalidades, disponíveis 24 horas por dia, 365 dias por ano permitem à distância a definição de estratégias de gestão da cultura, como a definição de programas de rega, aplicação de produtos a taxa variável, definição de datas de colheita, entre outros.

## 3. Material e Métodos

### 3.1 Local de realização dos ensaios

Os ensaios decorreram no ano de 2019, em duas parcelas de olival com as variedades “Galega vulgar” (GV) e “Cobrançosa” (Cb) em sistema de produção intensivo de regadio, localizadas na herdade Torre das Figueiras (Figura 17), no concelho de Monforte, distrito de Portalegre (localização geográfica: 39° 04' 0"N; 7° 28' 40"W).

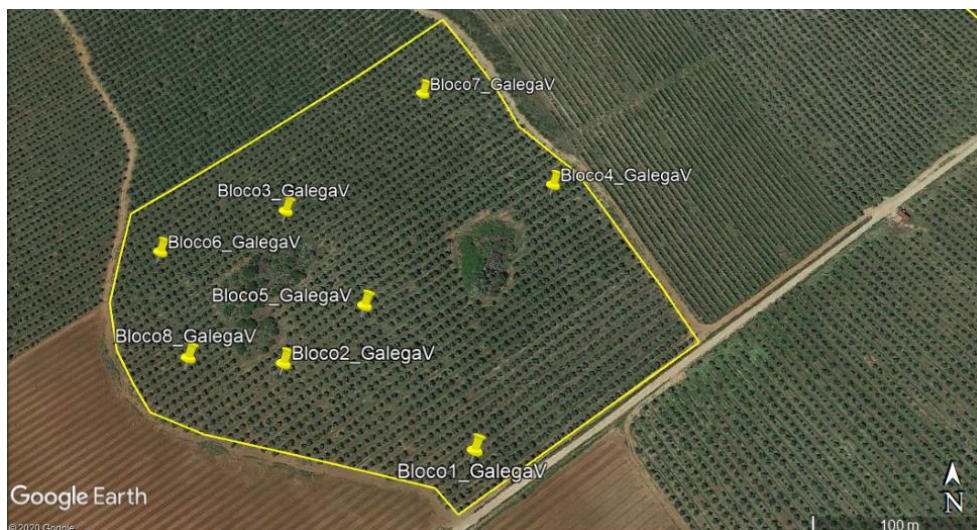


**Figura 17- Localização das parcelas de ensaio na Herdade Torre das Figueiras (adaptado de Google Earth 2020)**

#### 3.1.1 Parcela de ensaio da variedade ‘Galega vulgar’

A parcela onde está instalada a variedade “Galega vulgar” possui uma área de 9,1 hectares, está plantada com compasso de 7,0m × 5,0m, o que corresponde a uma densidade de 286 árvores por hectare. A orientação das linhas é Sudoeste-Nordeste. A parcela apresenta um declive médio de aproximadamente 11%. Na Figura 18 pode observar-se a delimitação da parcela em questão e da respetiva distribuição dos blocos de ensaio (usados no âmbito do projeto Oleovalor).

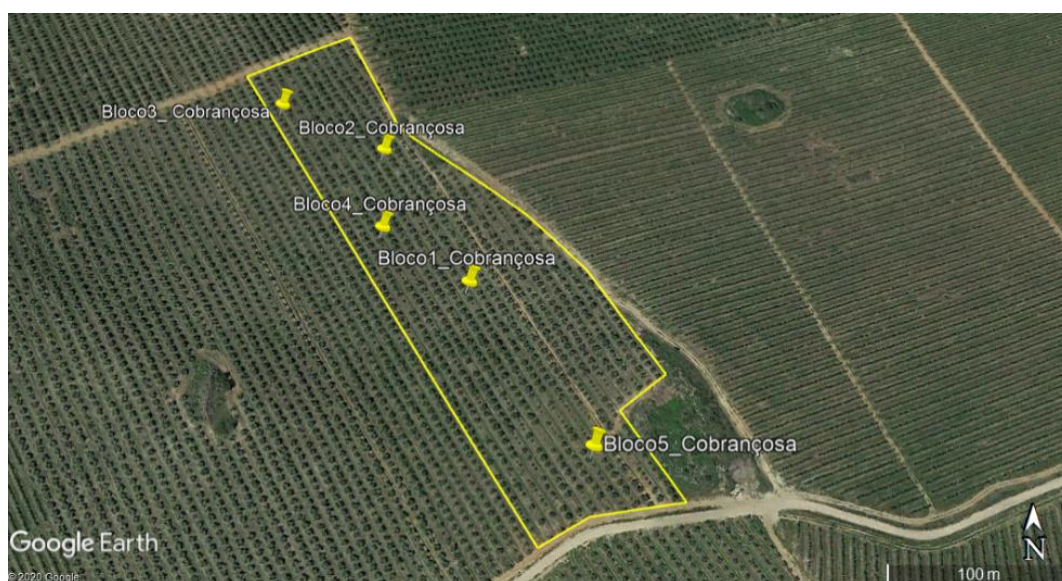




**Figura 18 - Localização da parcela e dos blocos de ensaio da variedade Galega (adaptado de Google Earth 2020)**

### 3.1.2 Parcela de ensaio da variedade 'Cobrançosa'

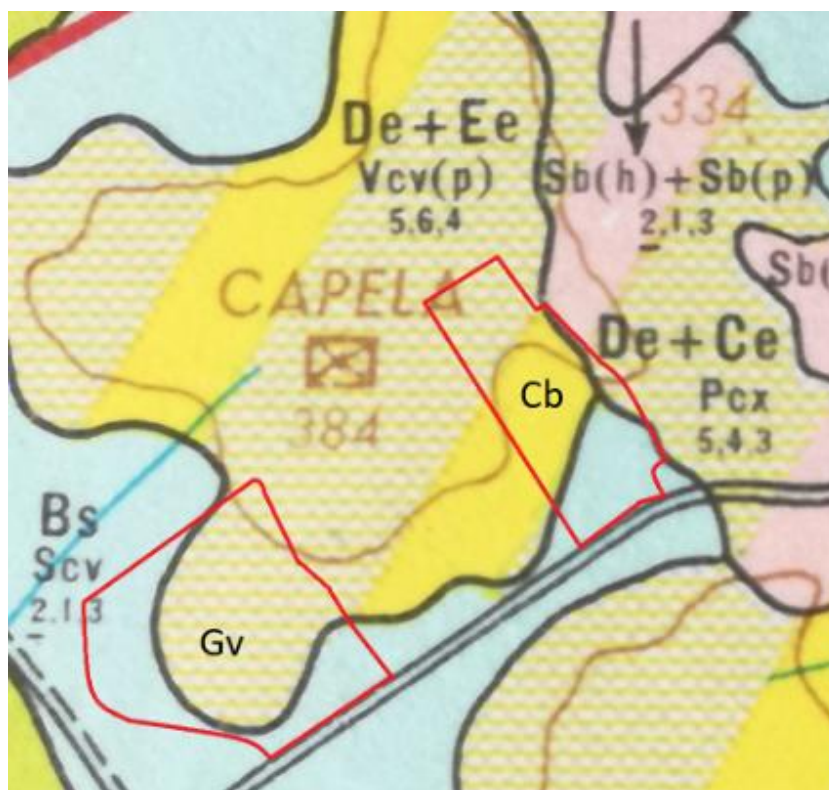
A parcela com a variedade 'Cobrançosa' em estudo foi instalada no ano de 2006, abarcando uma área de 3,44 hectares. O declive médio situa-se na ordem dos 18%. Tem uma densidade idêntica à parcela da 'Galega vulgar', com o compasso de 7,0m × 5,0m traduzindo-se numa densidade de 286 árvores por hectare, com orientação das linhas no sentido Noroeste-Sudeste. Estão representados na Figura 19 os blocos de ensaio da parcela em questão, assim como a área em estudo.



**Figura 19 - Localização da parcela e dos blocos de ensaio da variedade 'Cobrançosa' (adaptado de Google Earth 2020)**

### 3.2. Caracterização edáfica e topográfica das parcelas

A Figura 20 mostra um excerto da carta de capacidade de uso nº 32D do SROA (1964) com os solos e a capacidade de uso desses solos onde estão localizadas as 2 parcelas em estudo, na Herdade Torre das Figueiras.



**Figura 20 - Manchas de solos e da sua capacidade de uso das 2 parcelas (adaptado da carta da capacidade do uso do solo nº32D (SROA, 1964))**

A parcela de olival onde está instalada a variedade ‘Galega vulgar’, caracteriza-se maioritariamente por uma zona de solos mediterrâneos, vermelhos ou amarelos, de materiais calcários normais, de calcários cristalinos associados a outras rochas cristalofílicas básicas (Vcv), de textura franco-argilosa (Cardoso, 1965). As classes de capacidade de uso são “De+Ee” indicando solos que apresentam:

- Limitações severas e risco de erosão elevado a muito elevado (D), com subclasse “e” que significa risco de erosão e escoamento superficial;
- “E” designa limitações muito severas e risco de erosão muito elevados, com subclasse “e” de erosão e escoamento superficial.

As classes de declive mais predominantes são 2,1,3, segundo a classificação de (Cardoso, 1965), onde o declive está compreendido num intervalo entre os 0% e os 8% (DGADR, 2020).

O Quadro 2 mostra os resultados da análise composta do solo da parcela, verificando-se que tem um pH ligeiramente alcalino, um teor de matéria orgânica médio e os principais nutrientes em teores elevados a muito elevados.

**Quadro 2 - Resultados da análise composta de 3 subamostras do solo (0-0,3m) da parcela da variedade 'Galega vulgar' (Laboratório de Química Agrícola da ESAE)**

| Análise               | Resultados      |                                                   | Interpretação             |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| Textura de Campo      | Franco-Argilosa |                                                   | Drp>1,5 g/cm <sup>3</sup> |
| pH (H <sub>2</sub> O) | 7,6             |                                                   | Pouco alcalino            |
| pH (KCl)              | 6,7             |                                                   |                           |
| Condutividade         | 0,23            | mS.cm <sup>-1</sup>                               | Não salino                |
| Matéria Orgânica      | 3,0             | %                                                 | Médio                     |
| %Fósforo extraível    | 131             | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg.kg <sup>-1</sup> | Alto                      |
| Potássio extraível    | > 200           | K <sub>2</sub> O mg.kg <sup>-1</sup>              | Muito alto                |
| Cálcio extraível      | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Magnésio extraível    | 423             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Muito alto                |
| Azoto total           | 0,14            | %                                                 |                           |
| Azoto mineral         |                 | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Sódio extraível       |                 | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Boro                  | 1,1             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Alto                      |
| Carbonatos            | 3,0             | %                                                 |                           |
| Cloretos              | -0,1            | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Cobre                 | 13              | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Alto                      |
| Ferro                 | 64              | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Alto                      |
| Manganês              | 231             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Muito alto                |
| Chumbo                | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Níquel                | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Zinco                 | 1,8             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Médio                     |
| Terra Fina            | -               | %                                                 |                           |
| Cálcio de troca       | 26              | cmol(+).kg-1                                      | Muito alto                |
| Magnésio de troca     | 3,9             | cmol(+).kg-1                                      | Alto                      |
| Sódio de troca        | 0,21            | cmol(+).kg-1                                      | Baixo                     |
| Potássio de troca     | 0,70            | cmol(+).kg-1                                      | Alto                      |
| SBT                   | 31              | cmol(+).kg-1                                      |                           |
| CTC                   | 39              | cmol(+).kg-1                                      |                           |
| Acidez de troca       | 8,1             | cmol(+).kg-1                                      |                           |

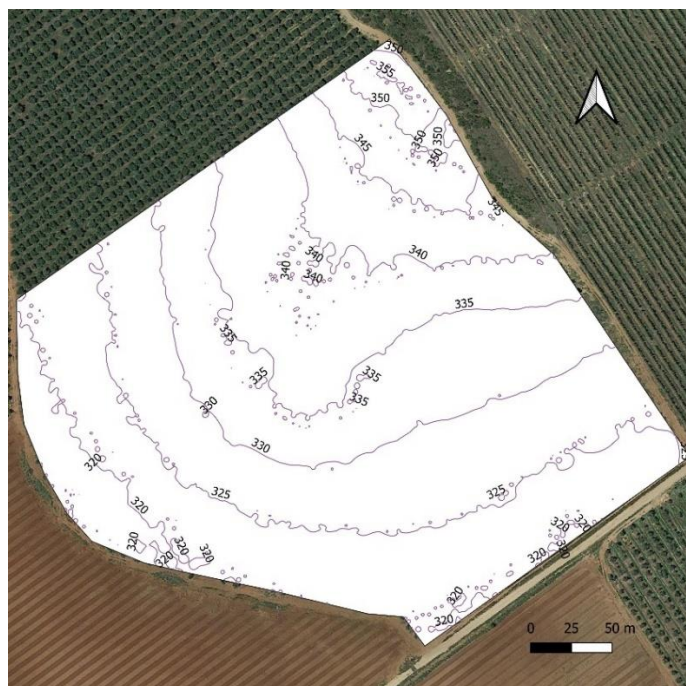
Métodos analíticos de rotina: pH – Ext. 1:2,5 (solos: água);

Condutividade elétrica – Ext. 1:2 (solos: água);

P, K - Egner-Riehm; Matéria orgânica – Wakley-Black; Cálcio, Magnésio - Acetato Amônio (pH7)



A Figura 21 mostra o Modelo Digital do Terreno (MDT) da parcela com a variedade 'Galega vulgar'.



**Figura 21 - Carta do MDT da parcela da variedade 'Galega vulgar' processado em QGIS a partir de dados da DGT.**

A parcela da variedade 'Cobrançosa' apresenta três tipos de solos distintos, um de solos Vcv, como os da parcela de 'galega vulgar', outro de solos Pcx pertencente à família dos "Solos calcários, pardos, dos climas sub-húmidos e semiáridos normais, de xistos associados a depósitos calcários" e outro de solos tipo Scv da família dos "Solos mediterrâneos vermelhos ou amarelos, de materiais calcários normais, de material coluviado dos solos da família Vcv" (Cardoso, 1965).

Os solos Pcx apresentam as classes de capacidade de uso "De+Ce" apresentando solos com limitações severas e risco de erosão elevado a muito elevado indicado pela letra D, com subclasse "e" indicando erosão e escoamento superficial, e limitações acentuadas e risco de erosão elevado (classe C) com subclasse "e" de erosão e escoamento superficial. As classes de declive são 5,4,3, ou seja, o declive está entre os 6% e os 25% (DGADR, 2020).

Os solos do tipo Scv apresentam classe de capacidade de uso "B" que indica solos com limitações moderadas e risco de erosão moderado, com subclasse "s" que indica limitações do solo ao nível da zona radicular. As classes de declives presentes na parcela são 5, 6, 4, pelo que o declive está compreendido entre os 9% e 25% (DGADR, 2020).

O Quadro 3 mostra os valores obtidos da análise composta do solo. Verifica-se que apresenta valores muito semelhantes aos da parcela de 'Galega vulgar'.



**Quadro 3 - Resultados da análise composta de 3 subamostras do solo (0-0,3m) da parcela da variedade ‘Cobrançosa’ (Laboratório de Química Agrícola da ESAE)**

| Análise               | Resultados      |                                                   | Interpretação             |
|-----------------------|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------|
| Textura de Campo      | Franco-Argilosa |                                                   | Drp>1,5 g/cm <sup>3</sup> |
| pH (H <sub>2</sub> O) | 7,3             |                                                   | Neutro                    |
| pH (KCl)              | 6,6             |                                                   |                           |
| Condutividade         | 0,28            | mS.cm <sup>-1</sup>                               | Não salino                |
| Matéria Orgânica      | 2,1             | %                                                 | Médio                     |
| %Fósforo extraível    | 33              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg.kg <sup>-1</sup> | Baixo                     |
| Potássio extraível    | > 200           | K <sub>2</sub> O mg.kg <sup>-1</sup>              | Muito alto                |
| Cálcio extraível      | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Magnésio extraível    | 209             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Muito alto                |
| Azoto total           | 0,12            | %                                                 |                           |
| Azoto mineral         |                 | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Sódio extraível       |                 | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Boro                  | 1,0             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Médio                     |
| Carbonatos            | 2,0             | %                                                 |                           |
| Cloretos              | -0,1            | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Cobre                 | 14              | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Alto                      |
| Ferro                 | 85              | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Muito alto                |
| Manganês              | 186             | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Muito alto                |
| Chumbo                | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Níquel                | -               | mg.kg <sup>-1</sup>                               |                           |
| Zinco                 | 0,86            | mg.kg <sup>-1</sup>                               | Baixo                     |
| Terra Fina            | -               | %                                                 |                           |
| Cálcio de troca       | 20              | cmol(+).kg-1                                      | Alto                      |
| Magnésio de troca     | 1,7             | cmol(+).kg-1                                      | Médio                     |
| Sódio de troca        | 0,05            | cmol(+).kg-1                                      | Muito baixo               |
| Potássio de troca     | 0,74            | cmol(+).kg-1                                      | Alto                      |
| SBT                   | 22              | cmol(+).kg-1                                      |                           |
| CTC                   | 18              | cmol(+).kg-1                                      |                           |
| Acidez de troca       | 0,0             | cmol(+).kg-1                                      |                           |

Métodos analíticos de rotina: pH – Ext. 1:2,5 (solos: água);

Condutividade elétrica – Ext. 1:2 (solos: água);

P, K - Egner-Riehm; Matéria orgânica – Wakley-Black; Cálcio, Magnésio - Acetato Amônio (pH7)

A Figura 22 mostra o modelo digital do terreno (MDT) da parcela.

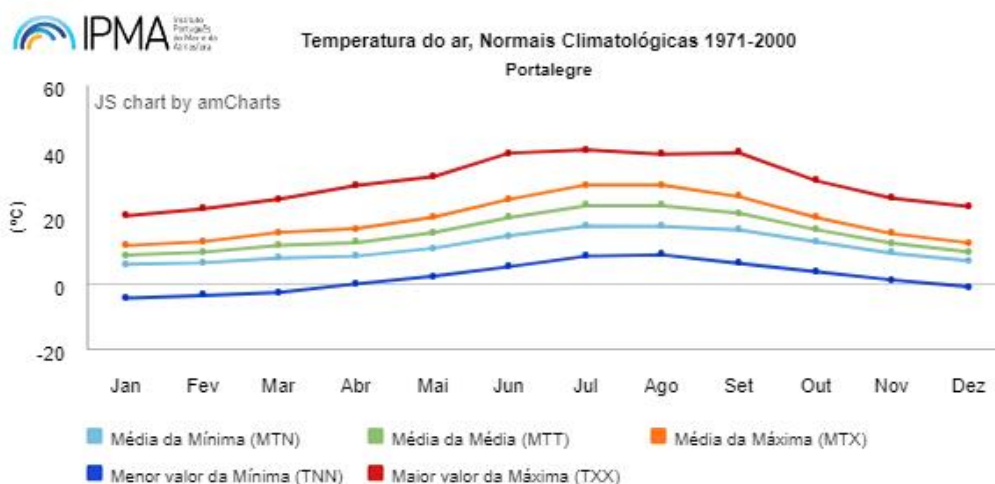


**Figura 22 - Carta do MDT da parcela da variedade ‘Cobrançosa’ processado em QGIS a partir de dados da DGT.**

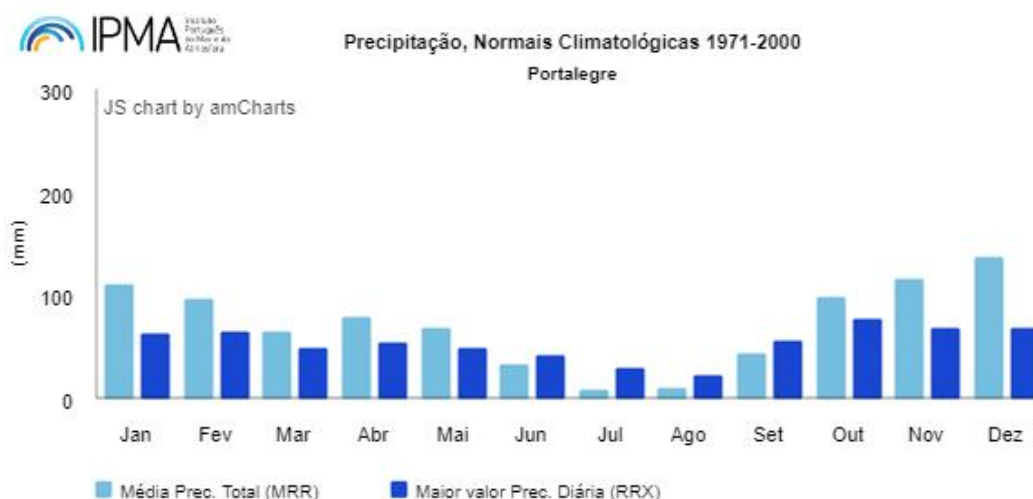
### 3.3. Caracterização climática

A região de Monforte, distrito de Portalegre é influenciada, segundo a classificação climática de Koppen e Geiger, pelo clima mediterrânico, na sua variante Csa, que se destaca como clima temperado com verão quente e seco e inverno frio e húmido (IPMA, 2020).

As figuras 23 e 24 apresentam os dados das normais climatológicas referentes ao período compreendido entre 1971-2000 de Portalegre.



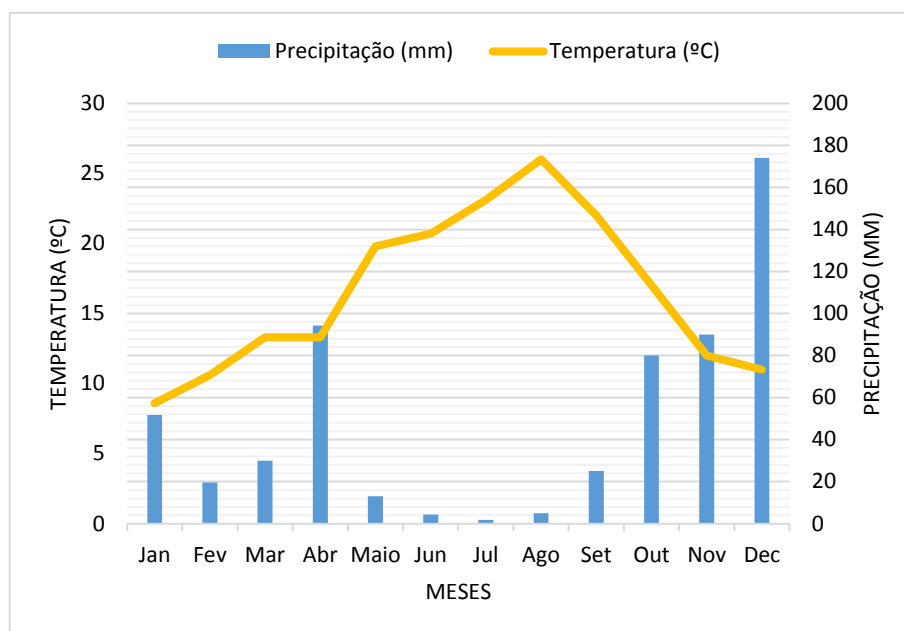
**Figura 23 - Temperatura do ar, Normais climatológicas 1971-2000 Portalegre (IPMA, 2020)**



**Figura 24 - Precipitação, Normais Climatológicas 1971-2000 Portalegre (IPMA, 2020)**

Em Portalegre, no período 1971- 2000, o mês em que se regista temperaturas mais elevadas é o mês de agosto, com uma temperatura média de 23,5°C, sendo que o mais fresco é janeiro, apresentando valores médios de 8,5°C. Relativamente à precipitação, para um total estimado em 852 mm, o mês mais chuvoso é dezembro com 136,0mm e o mais seco é agosto com 8,5mm.

A figura 25 mostra o gráfico termopluviométrico para o período em estudo a partir de dados da estação meteorológica localizada na Herdade de Torre das Figueiras.



**Figura 25 - Gráfico termopluviométrico referente ao período de janeiro a dezembro de 2019 na herdade da Torre das Figueiras**

Comparativamente aos valores da Normal Climatológica, observou-se que, em 2019, o mês mais quente na Herdade Torre das Figueiras, à semelhança da localidade de Portalegre, continua a ser agosto. Já o mês mais frio é igualmente o mês de janeiro apresentando valores muito semelhantes aos valores normais da localidade de Portalegre.

O mês de julho na herdade da Torre das Figueiras ficou registado como o mês mais seco do ano de 2019, enquanto os valores da Normal Climatológica de Portalegre indicam que nessa região o mês mais seco é atribuído a agosto. Na Figura 25 pode observar-se uma irregularidade na distribuição da precipitação ao longo do ano, isto porque o mês de abril de 2019 regista valores de precipitação muito acima do normal, fruto de um ano atípico e de uma primavera chuvosa.

### 3.4. Caracterização das variedades em estudo

#### 3.4.1 'Galega vulgar'

A variedade 'Galega vulgar' está inserida nas DOP Azeites da Beira Alta, Azeites da Beira Baixa, Azeites do Ribatejo, Azeites do Alentejo Interior, Azeites do Norte Alentejano e Azeites de Moura (Inês, 2015). Barroso et al. (2013) caracterizam a variedade galega como uma variedade com elevada rusticidade, mas com baixo rendimento em azeite (<18%).

Relativamente ao seu porte é uma árvore com porte médio a grande. As folhas são compridas e largas. O número de flores por inflorescência estima-se entre as 18-25 flores, considerando assim ser uma variedade com valores médios a elevados. O seu fruto é descrito como um fruto pequeno e com forma apical arredondada ou pontiaguda (Figura 26). Esta é uma variedade que apresenta alguma sensibilidade à mosca e à gafa (Leitão et al., 1986).



**Figura 26 - Aspeto fenotípico da folha, ramificação, fruto, endocarpo e inflorescência da variedade 'Galega vulgar' (Leitão et al., 1986)**

### 3.4.2 'Cobrançosa'

A variedade 'Cobrançosa' faz parte das DOP Azeites de Trás-os-Montes, Azeites do Norte Alentejano, Azeites da Beira Alta e Azeites do Alentejo Interior (Inês, 2015). Possui um fruto característico, de tamanho médio e forma apical pontiaguda ou arredondada (Figura 27). Árvore é de porte pequeno a médio, com folhas compridas e estreitas e as inflorescências de comprimento médio. A relação entre o número de flores e o número de inflorescências é médio (18-25 flores) (Leitão et al., 1986).

É uma variedade muito produtiva e regular, com um rendimento em azeite médio (18-22%). Tal como a 'Galega vulgar', a 'Cobrançosa' é suscetível à mosca da azeitona, mas resistente à gafa (Barroso et al. 2013).

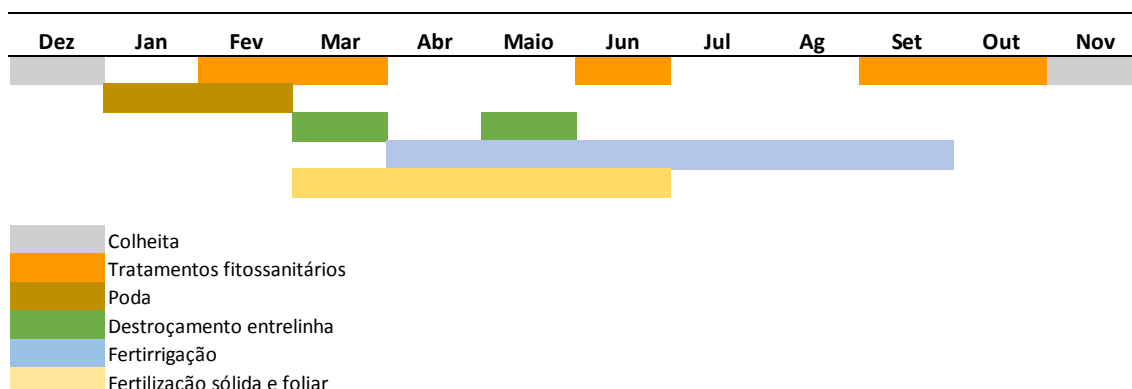


**Figura 27- Aspeto fenotípico da folha, ramificação, fruto, endocarpo e inflorescência da variedade 'Galega vulgar'**

### 3.5. Itinerário cultural

As parcelas de olival em estudo encontram-se em regime de proteção integrada, que segundo o Decreto-Lei n.º 37/2013, de 13 de março exige da parte do agricultor um amplo conhecimento da cultura, dos organismos auxiliares da cultura, dos seus inimigos, assim como dos diversos fatores que contribuem para a sua nocividade de forma a se efetuar, adequadamente, a estimativa do risco resultante da presença desses inimigos.

Ambas as parcelas são regadas, apresentam enrelvamento na entrelinha, distribuindo-se as operações culturais de acordo com o apresentado na Figura 28.



**Figura 28 - Distribuição temporal das operações culturais nos olivais em estudo.**

Todas as operações são mecanizadas. Os tratamentos fitossanitários assentam na aplicação de um herbicida, um fungicida e duas aplicações de um inseticida, de modo a combater pragas e doenças que assolam a cultura do Olival. A fertirrigação consiste na distribuição de Azoto, Fósforo e Potássio e a fertilização sólida e foliar, além de macronutrientes principais, contêm macronutrientes secundários como Cálcio, Magnésio e Enxofre e micronutrientes como Boro, Manganês e Zinco e elementos benéficos como o Silício. As doses aplicadas são ajustadas anualmente às necessidades da cultura e são feitas em função das análises foliares.

### 3.6. Metodologia para determinações em campo e laboratório

A monitorização das parcelas em campo realizou-se de janeiro a novembro, no ano agrícola de 2019, a partir de um conjunto de pontos georreferenciados e escolhidos nas linhas da cultura de forma a serem os mais representativos na parcela em vigor, estado sanitário e todas da mesma idade. Foram assim identificados 5 pontos na parcela da variedade ‘Cobrançosa’ e 8 pontos na parcela da variedade ‘Galega vulgar’, correspondendo cada ponto a um conjunto



de 4 árvores consecutivas. Estes pontos passarão a ser os “blocos” do delineamento experimental.

Nestes pontos de amostragem avaliaram-se o estado fenológico, a produtividade e respetiva biometria das árvores, nomeadamente as medidas da superfície e volume da copa. Em laboratório foram feitas determinações do índice de maturação e do teor de gordura na matéria seca.

Em paralelo, procedeu-se à monitorização das parcelas por deteção remota conforme adiante se descreve.

### 3.6.1 Avaliação dos Estados Fenológicos

A primeira fase teve como propósito a determinação dos estados fenológicos de acordo com a escala BBCH (Sanz-Cortez et al., 2002) em que no método de observação se anotou o estado fenológico mais atrasado, o mais adiantado e o dominante, usando a metodologia de Naveiro et al. (1996), descrita por Cordeiro e Martins (2002). As observações foram efetuadas à altura do observador, nos quatro quadrantes da árvore (Figura 29), iniciando-se no estado principal 5 (fases de desenvolvimento das inflorescências) até ao estado secundário 89 (colheita) tendo as mesmas sido realizadas com uma periodicidade semanal, que passou a ser de duas vezes por semana apenas durante a floração.



**Figura 29 - Observação em campo dos estados fenológicos**

### 3.6.2 Produtividade, Volume e Superfície da Copa

Aquando da operação de colheita (20 de novembro para a variedade ‘Galega vulgar’ e 4 de dezembro para a variedade ‘Cobrançosa’) foram avaliados os parâmetros produtividade (P) (Equação 3), volume de copa (VC) (Equação 4) e superfície da copa (SC) (equação 5) seguindo a metodologia de Resgen (COI, 1997):



$$P (kg\ ha^{-1}) = Pmp (kg\ planta^{-1}) \times d (pl\ ha^{-1}) \quad (\text{equação 3})$$

$$VC (m^3) = 0,5236 \times D2 \times h \quad (\text{equação 4})$$

$$SC(m^2) = D1 \times D2 \quad (\text{equação 5})$$

Em que:

Pmp - Peso médio por ponto de amostragem;

d - Densidade de plantação;

D - Medida do diâmetro transversal;

H - Altura da copa;

D1 e D2 - Medida dos diâmetros transversais da copa.

Para a avaliação da produtividade procedeu-se à recolha da azeitona com ajuda de um varejador mecânico, dois panos e uma balança digital (Figura 30). As avaliações de biometria foram realizadas manualmente com o recurso a uma fita métrica.



**Figura 30 - Operação de colheita para avaliação da produtividade**

### 3.6.3 Índice de maturação e teor de gordura na matéria seca (GMS)

O Índice de maturação é uma forma expedita de ajuda à determinação da data de colheita (Peres et al., 2012). À medida que o processo de maturação da azeitona se inicia, dá-se uma redução da clorofila e a cor evolui de verde para amarelo e mais tarde assume uma cor em tons de violeta até ficar negra, resultado da acumulação de antocianinas.

A determinação da data de colheita com base na avaliação da evolução da maturação da azeitona deve realizar-se quando os frutos apresentam a máxima quantidade de gordura com as melhores características (Beltrán et al., 2004; Cordeiro et al., 2016). Assim foram colhidos aleatoriamente, 100 frutos por bloco à altura do operador, nos quatro quadrantes de cada uma das árvores. Em laboratório, classificaram-se de acordo com as classes do Índice de Maturação de Jaén (IM) que varia de 0 a 7, baseado na coloração da epiderme e do mesocarpo do fruto segundo a metodologia e fórmula aplicada pelo IFAPA de Mengíbar, Jaén (COI, 2011).

$IM = Ax0 + Bx1 + Cx2 + Dx3 + Ex4 + Fx5 + Gx6 + Hx7 / 100$  em que,

cada letra representam o número de azeitonas pertencentes às 8 classes de cor

0 – Azeitonas com epiderme verde intenso a verde-escuro;

1 – Azeitonas com epiderme amarela ou verde-amarelado;

2 – Azeitonas com epiderme amarela, com manchas roxas;

3 – Azeitonas com epiderme roxa ou violeta claro;

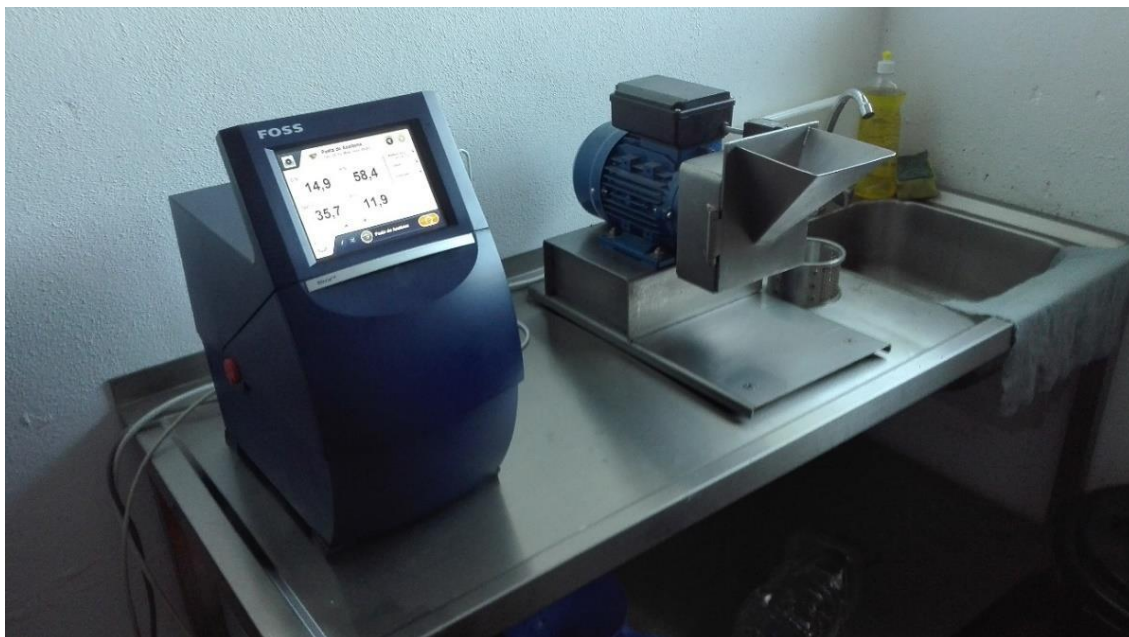
4 – Azeitonas com epiderme negra e polpa totalmente verde;

5 – Azeitonas com epiderme negra e polpa violeta até metade;

6 – Azeitonas com epiderme negra e polpa violeta quase até ao caroço;

7 – Azeitonas com epiderme negra e polpa totalmente negra

O teor de gordura na matéria seca (GMS), depois de preparada a amostra num moinho de martelos, foi determinado para cada variedade na pasta de azeitona por um equipamento de análise modelo Olivia da marca FOSS (Figura 31).



**Figura 31 - Equipamento de análise FOSS e moinho de martelos usado para preparar a amostra de azeitona**

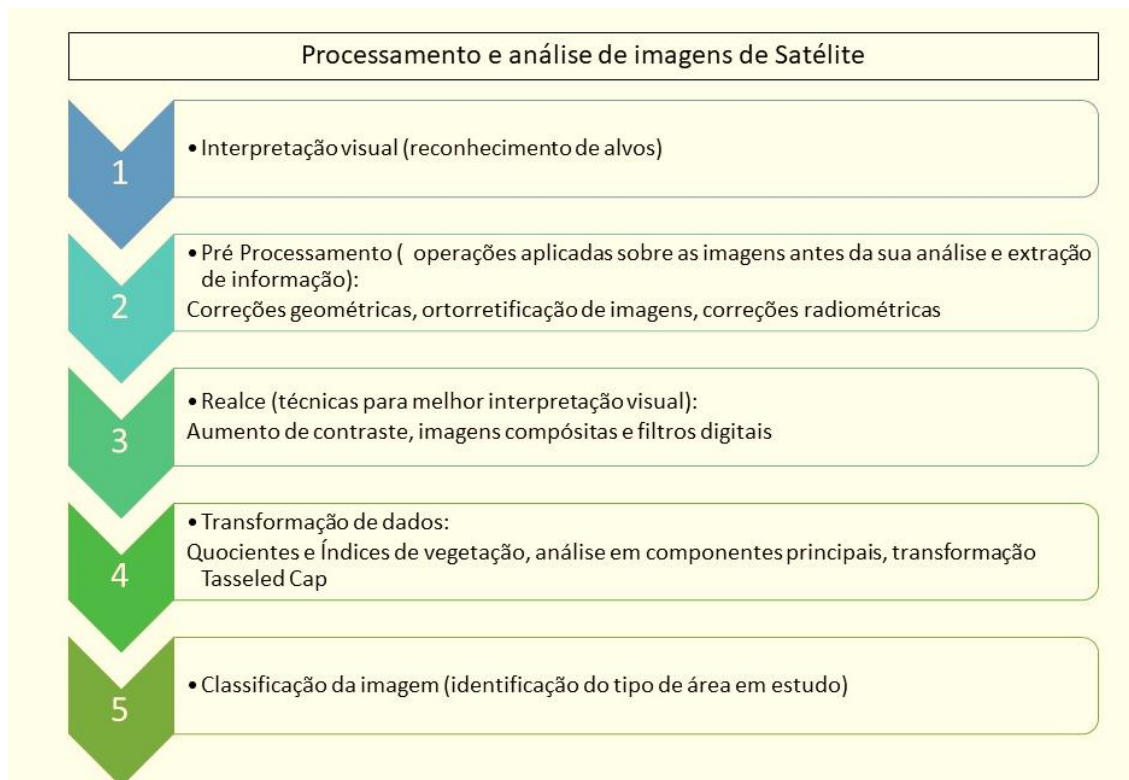
### 3.7. Avaliação multiespectral da cultura

A avaliação multiespectral da cultura fez-se a partir de imagens de satélite da constelação Sentinel, usando os sensores óticos para os índices NDVI e NDWI; e SAR para imagens de RADAR.

A avaliação dos índices NDVI e NDWI fez-se ao longo do ciclo da cultura e à data de colheita. Considerando o facto de ambos os olivais apresentarem a entrelinha com enrelvamento, à data de colheita procedeu-se à avaliação dos índices obtidos em toda a parcela e apenas nas linhas de olival.

As imagens de RADAR foram obtidas para toda a parcela à data de colheita.

Para as imagens da parcela recorreu-se à informação disponibilizada na plataforma digital Agromap, enquanto para as imagens da cartografia obtida a partir das linhas de olival se fez o pós-processamento conforme descrito na Figura 32, utilizando o software QGIS versão 3.16 e aplicando um buffer correspondente à linha de plantação sendo então os dados interpolados pelo método da ponderação do Inverso da Distância (IDW). Para as cartas de produtividade, SC e VC foi usado o mesmo *software* e método de interpolação.



**Figura 32 - Etapas no processamento de imagens de Satélite (Sousa e Silva, 2011)**

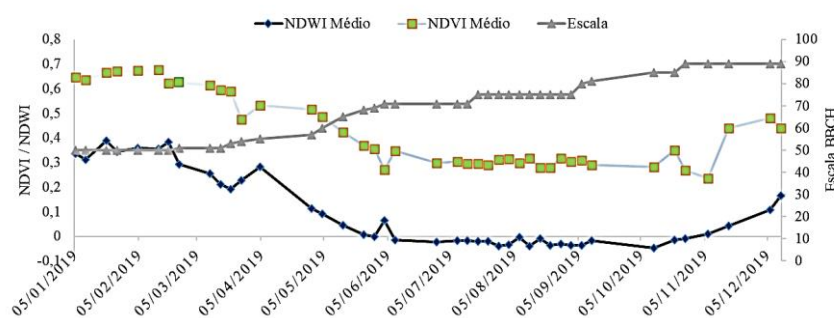
### 3.8. Tratamento estatístico de dados

Para estudar a variação no tempo e no espaço, os parâmetros avaliados foram sujeitos a uma análise estatística descritiva, determinação do coeficiente de variação e análise de correlação através do uso do *software* Microsoft Excel, tendo-se procedido a um teste de Tuckey para comparação de médias seguindo a metodologia de (Falcão, 2019) com recurso ao *software* Past 3.26.

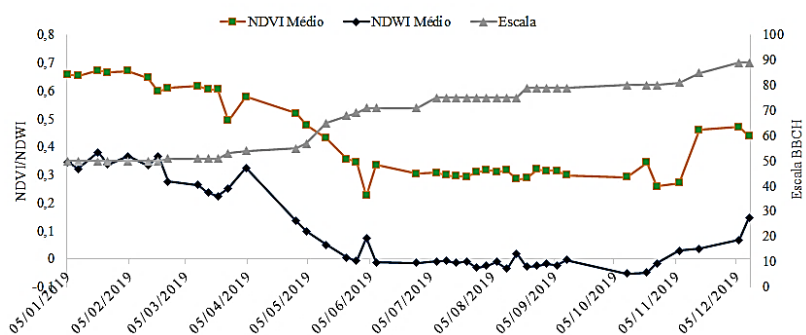
## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Variação temporal dos índices NDVI e NDWI e padrão espacial das variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’

A Figura 33 e o Quadro 4 apresentam, para as variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’, as respectivas curvas de evolução do ciclo fenológico na escala BBCH, valor médio dos índices NDVI e NDWI, e os respectivos valores de estatística descritiva e coeficiente de variação ao longo do ciclo da cultura.



| Início floração (IF)                                          | Início da plena floração (IPF)                            | Final da plena floração (FIPF)                          | Fim da floração (FiF)                                   |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Primeira vez que é observado o estado 60 como o mais avançado | Primeira vez que é observado o estado 61 como o dominante | Última vez que é observado o estado 65 como o dominante | Primeira vez que é observado o estado 68 como dominante |
| XX-XX-60                                                      | XX-61-XX                                                  | XX-65-XX                                                | XX-68-XX                                                |
| 21/mai                                                        | 24/mai                                                    | 31/mai                                                  | 04/jun                                                  |



| Início floração (IF)                                          | Início da plena floração (IPF)                            | Final da plena floração (FIPF)                          | Fim da floração (FiF)                                   |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Primeira vez que é observado o estado 60 como o mais avançado | Primeira vez que é observado o estado 61 como o dominante | Última vez que é observado o estado 65 como o dominante | Primeira vez que é observado o estado 68 como dominante |
| XX-XX-60                                                      | XX-61-XX                                                  | XX-65-XX                                                | XX-68-XX                                                |
| 24/mai                                                        | 27/mai                                                    | 31/mai                                                  | 04/jun                                                  |

**Figura 33 - Curvas de evolução do ciclo fenológico e detalhe do período de floração, dos Índices NDVI, NDWI da variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo).**

**Quadro 4 - Valor mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos índices NDVI e NDWI observados na variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo) ao longo do ciclo vegetativo (N=42).**

| Índice | Min   | Max  | Média | Desvio Padrão | CV (%) |
|--------|-------|------|-------|---------------|--------|
| NDWI   | -0,05 | 0,39 | 0,10  | 0,15          | 153,11 |
| NDVI   | 0,24  | 0,68 | 0,42  | 0,15          | 34,89  |

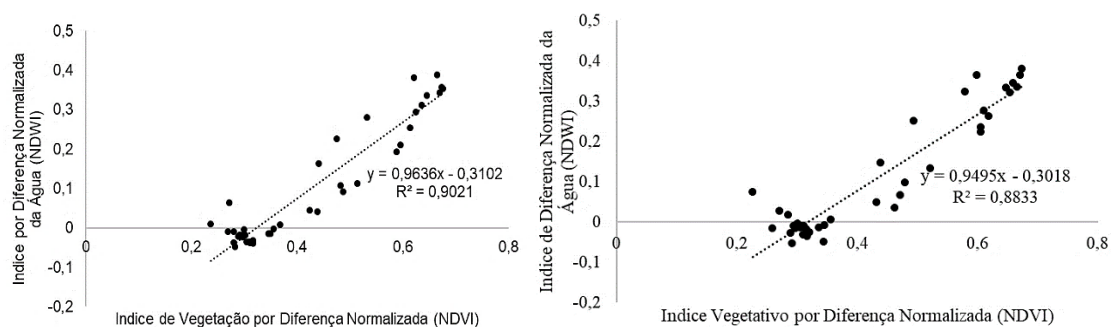
| Índice | Min   | Max  | Média | Desvio Padrão | CV (%) |
|--------|-------|------|-------|---------------|--------|
| NDWI   | -0,05 | 0,38 | 0,10  | 0,15          | 145,80 |
| NDVI   | 0,23  | 0,67 | 0,43  | 0,15          | 34,75  |

A observação das curvas dos ciclos das culturas assente em 42 registos (Figura 33), tantas quantas as imagens disponíveis sem a interferência de fatores atmosféricos, apresenta uma evolução dos índices NDVI e NDWI idêntica para ambas as variedades. Os valores mais altos do NDWI verificam-se ainda na fase de repouso vegetativo (final de janeiro e início de fevereiro). Os valores mais baixos durante os meses de primavera e verão, com uma descida mais acentuada logo a partir de abril para a variedade ‘Cobrançosa’, e uma ligeira subida dos valores já no final do ciclo da cultura a partir de outubro e novembro. Esta observação é confirmada pela mesma ordem de grandeza dos valores de estatística descritiva e coeficiente de variação apresentados no Quadro 4.

O valor de coeficiente de variação é consideravelmente superior quer para o índice NDWI quer para o índice NDVI. Esta evidência, com os menores valores a ocorrerem durante o verão, traduz muito possivelmente uma consequência do aumento de temperatura e diminuição de precipitação nesse período, alterando o regime hídrico das plantas e que, apesar de serem parcelas de olival regado (sistema gota-a-gota), não foi capaz de ser compensado pela dotação de rega administrada. Efetivamente, os valores mínimos do índice NDWI (-0,05) em qualquer uma das variedades apontam para uma potencial situação de *stress* hídrico da cultura neste período.

A Figura 34 mostra as retas de regressão e o modelo linear de relação entre os valores observados dos índices de NDVI e NDWI ao longo do ciclo da cultura para cada uma das variedades de oliveira.





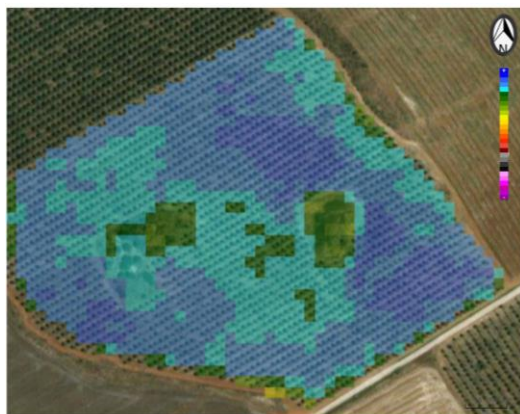
**Figura 34 - Modelo linear de relação entre os valores registados dos índices de NDVI e NDWI ao longo do ciclo da cultura da variedade ‘Galega vulgar’ (à esquerda) e ‘Cobrançosa’ (à direita).**

Tal como se verificou em Marques (2018), o coeficiente de determinação ( $R^2$  0,90 para a variedade ‘Galega vulgar’;  $R^2$  0,83 para a variedade ‘Cobrançosa’) evidencia a forte correlação entre o vigor vegetativo das plantas (NDVI) e o teor de água nas folhas (NDWI), indiciando que plantas em melhores condições hídricas apresentam maior quantidade de clorofila.

Este resultado e ainda a constatação observada na Figura 33, em que o período de floração ocorre da última semana de maio/início de junho já com um baixo índice NDWI, pode constituir um fator para a redução da produtividade da cultura ou da sua distribuição na parcela, nomeadamente quando observados os padrões espaciais ao longo do tempo.

As Figuras 35 e 35A, 36 e 36A mostram os padrões da variação no espaço de ambos os índices para as 2 variedades de oliveira, em 4 momentos do ciclo da cultura.





I



II

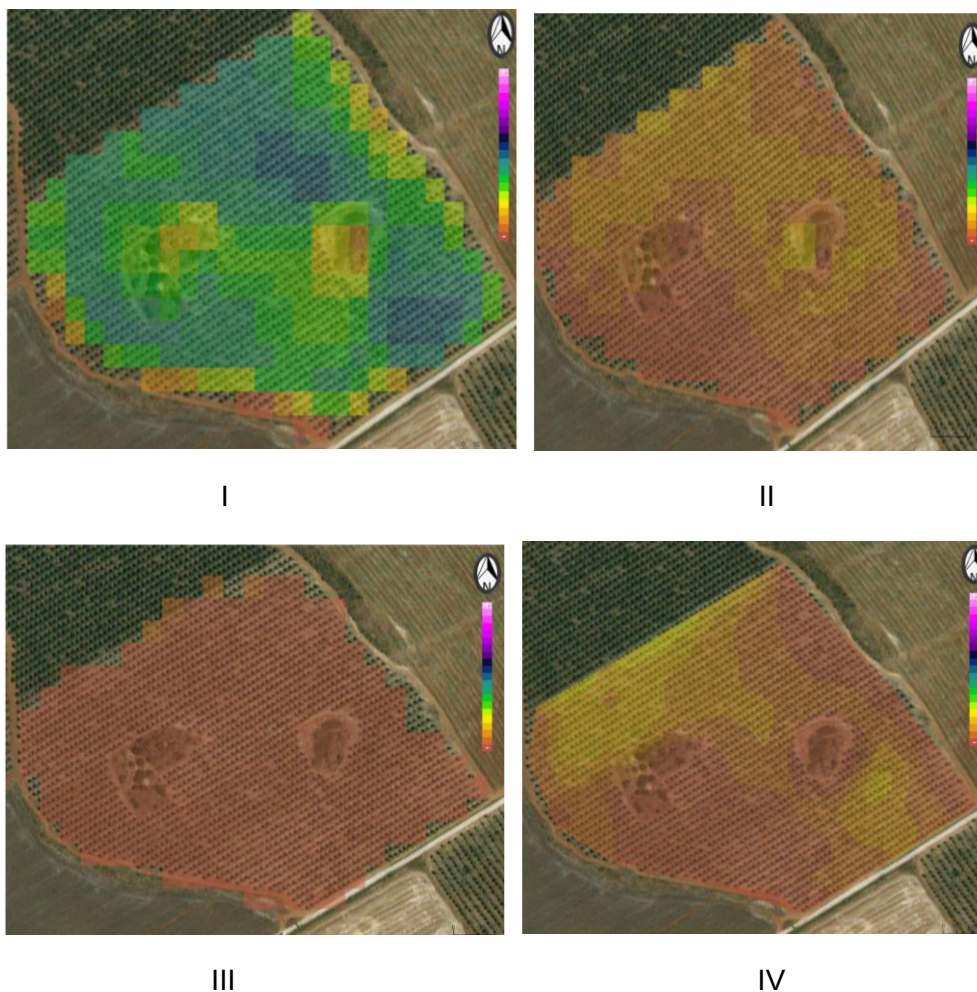


III



IV

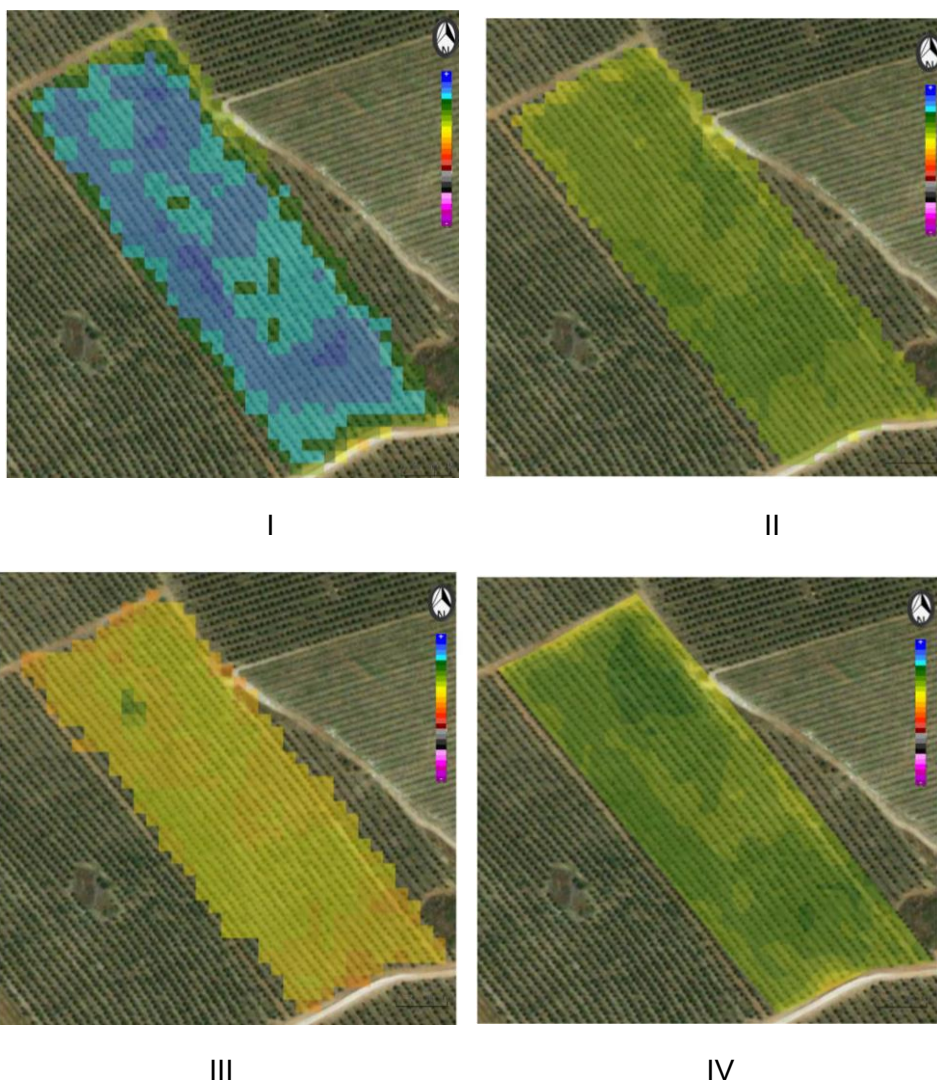
**Figura 35- Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDVI ao longo do ciclo vegetativo da variedade 'Galega vulgar': I - 14 fevereiro (NDVI médio 0,68), II - 15 maio (NDVI médio 0,56); III – 8 agosto (NDVI médio 0,30) IV- 16 novembro (NDVI médio 0,45).**



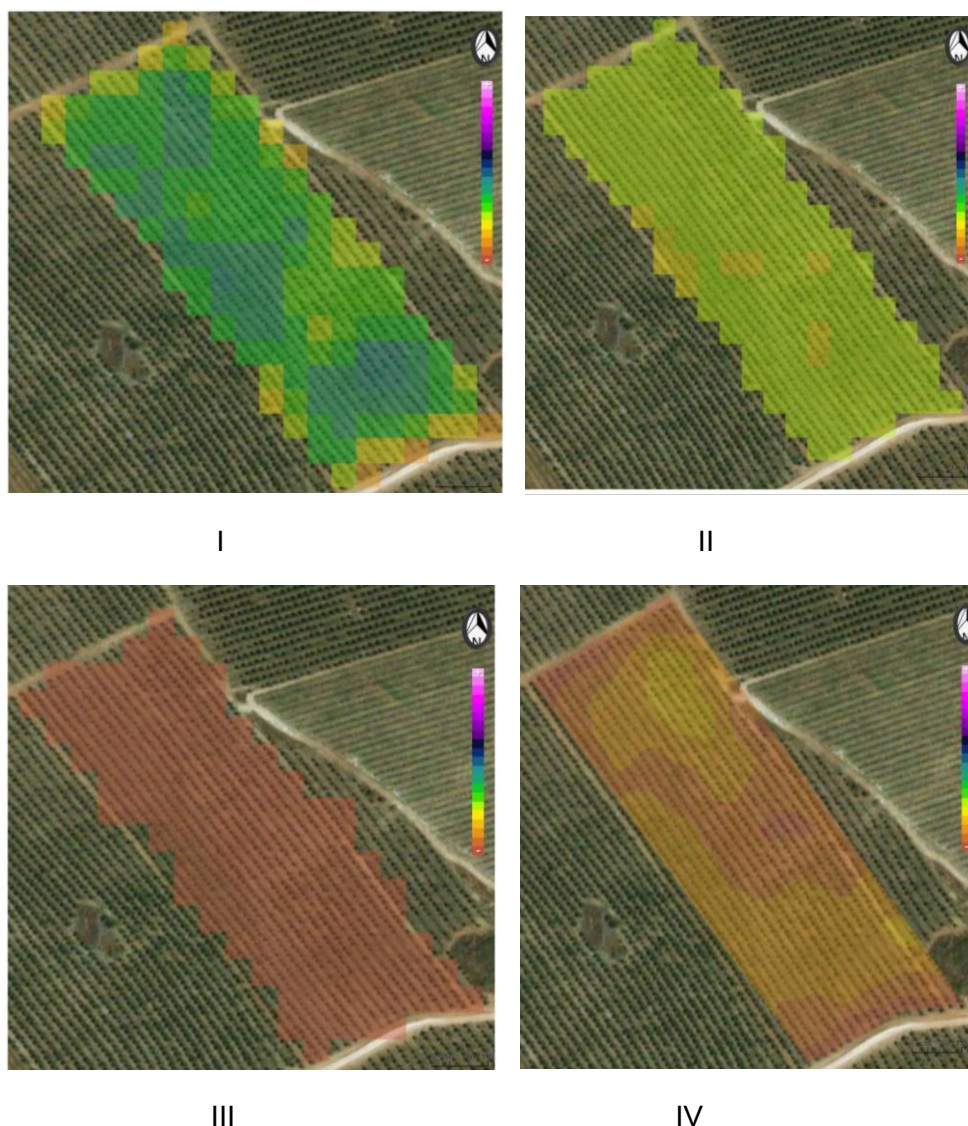
**Figura 35 A – Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDWI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Galega vulgar’: I - 14 fevereiro (NDWI médio 0,38), II - 15 maio (NDWI médio 0,18); III – 8 agosto (NDWI médio 0,01); IV-16 novembro (NDWI médio 0,17)**

Para a variedade ‘Galega vulgar’, independentemente do momento considerado, o padrão espacial para ambos os índices mostra um valor superior tendencialmente nas zonas da parcela de menor cota quando observada a carta do MDT (Figura 21). Esta constatação tendo em conta o tipo de solos da parcela e a respetiva avaliação físico química da análise composta com indicação de textura de campo pesada parecem indicar que, zonas de baixa com acumulação de materiais derivados da erodibilidade de zonas de maior cota apresentam uma maior capacidade de gestão da água e disponibilidade de cedência às culturas, favorecendo-as principalmente, quando não se verificam zonas de encharcamento.





**Figura 36- Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDVI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Cobraçosa’:  
I - 14 fevereiro (NDVI médio 0,68), II - 15 maio (NDVI médio 0,56); III – 8 agosto (NDVI médio 0,30; 16 novembro (NDVI médio 0,45).**



**Figura 36 A – Registo da plataforma Agromap da evolução das cartas do padrão espacial do índice NDWI ao longo do ciclo vegetativo da variedade ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’: I - 14 fevereiro (NDWI médio 0,38), II - 15 maio (NDWI médio 0,18); III – 8 agosto (NDWI médio 0,01); 16 novembro (NDWI médio 0,17)**

A variedade ‘Cobrançosa’ apresenta ao longo do ciclo um padrão espacial menos dependente do declive da parcela. Do ponto de vista edáfico, a oliveira, embora seja possível adaptar o seu cultivo a uma variada gama de solos, prefere os solos profundos, com uma textura franca, boa capacidade de retenção de água e bem drenados pois tolera mal o encharcamento. Estas características aliadas a um pH neutro a alcalino num tipo de solo com menos limitações que o da parcela ‘Galega vulgar’, podem contribuir para que na variedade ‘Cobrançosa’ o padrão espacial não seja tão dependente do declive da parcela, não sendo tão delimitadas as zonas com valores máximos e mínimos.

## 4.2 Variação espacial à data de colheita das variedades ‘Galega vulgar’ e ‘Cobrançosa’

### 4.2.1 Índices NDVI, NDWI e RADAR

O Quadro 5 mostra a estatística descritiva e o coeficiente de variação dos índices NDVI da parcela e NDVI<sup>1</sup> na linha, NDWI na parcela e NDWI<sup>1</sup> na linha; e RADAR polarizações VH e VV registados à data de colheita.

**Quadro 5 - Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros NDVI, NDVI<sup>1</sup> na linha, NDWI, NDWI<sup>1</sup> na linha, RADAR (VH) e RADAR (VV) registados à data da colheita para a variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo).**

|                           | Min    | Max    | Média               | Dp   | CV (%) |
|---------------------------|--------|--------|---------------------|------|--------|
| (parcela) NDVI            | 0,34   | 0,74   | 0,45 <sup>a</sup>   | 0,08 | 17,7   |
| (linha) NDVI <sup>1</sup> | 0,41   | 0,66   | 0,45 <sup>a</sup>   | 0,05 | 11,1   |
| NDWI                      | -0,19  | 0,2    | 0,1 <sup>a</sup>    | 0,05 | 50     |
| NDWI <sup>1</sup>         | -0,02  | 0,15   | 0,06 <sup>b</sup>   | 0,01 | 16,6   |
| RADAR VH (dB)             | -18,3  | -15,48 | -16,62 <sup>a</sup> | 1,52 | 9,2    |
| RADAR VV (dB)             | -11,9  | -9,0   | -9,95 <sup>b</sup>  | 1,1  | 11     |
|                           | Min    | Max    | Média               | Dp   | CV (%) |
| NDVI                      | 0,23   | 0,56   | 0,47 <sup>a</sup>   | 0,05 | 10,8   |
| NDVI <sup>1</sup>         | 0,4    | 0,69   | 0,6 <sup>a</sup>    | 0,05 | 8,3    |
| NDWI                      | -0,013 | 0,21   | 0,14 <sup>a</sup>   | 0,03 | 21,5   |
| NDWI <sup>1</sup>         | -0,09  | 0,15   | 0,05 <sup>a</sup>   | 0,01 | 20     |
| RADAR VH (dB)             | -17,76 | -15,25 | -16,45 <sup>a</sup> | 0,68 | 4,1    |
| RADAR VV (dB)             | -12,01 | -10,04 | -10,9 <sup>b</sup>  | 0,49 | 4,8    |

Letras diferentes representam diferenças significativas nas médias (p<0.05)

Independentemente da variedade, verifica-se uma menor variação no espaço à data de colheita tanto dos índices NDVI como NDWI do que aquela observada ao longo do ciclo da cultura. A observação de valores em toda a parcela destes índices e apenas na linha da cultura permitem dizer, neste caso de estudo, não haver diferenças significativas senão para os valores de NDWI da variedade ‘Galega vulgar’. Este resultado sublinha o interesse que pode ter a disponibilidade de informação em plataformas digitais que apesar de

apresentarem o resultado do todo da parcela, este de forma expedita reflete as variações que ocorrem na cultura sem interferência significativa de outras superfícies como neste caso podia ter o enrelvamento da entrelinha. Ainda assim, a diferença da leitura de dados obtidos na parcela e na linha para o caso do índice NDWI da variedade ‘Galega vulgar’ pode sugerir a necessidade de confirmação desta abordagem, nomeadamente através do cruzamento de informação entre os dados da parcela com os que fossem obtidos por um sensor DR próximo que permitissem isolar as copas das árvores da área em volta, técnica esta mais exigente do ponto de vista da logística envolvida, mas potencialmente justificável.

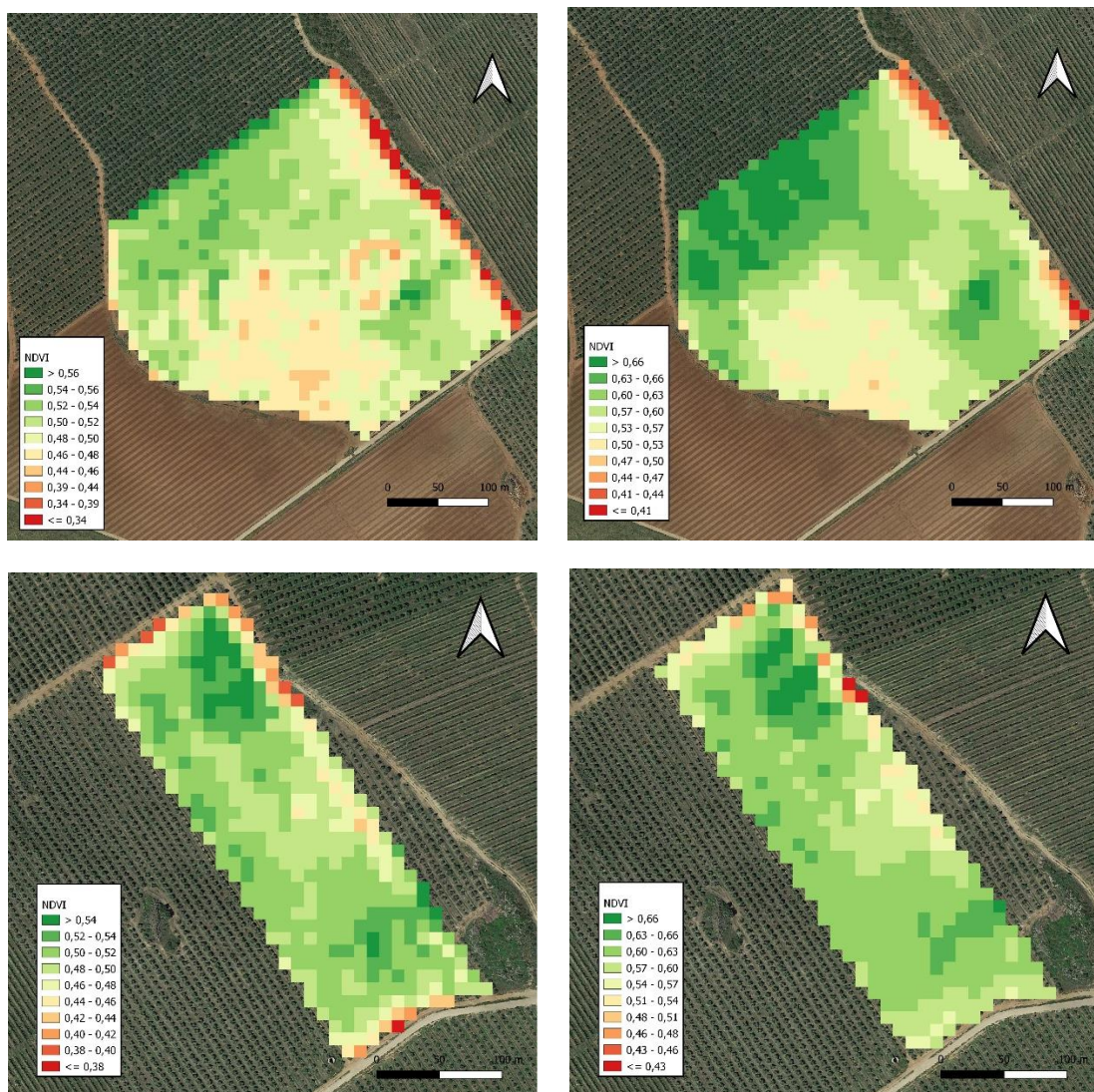
Nos índices RADAR a polarização, ainda que recomendada de forma distinta consoante o tipo de superfície ou alvo que se pretenda medir, com preferência para VH no caso do copado de culturas arbóreas e VV no caso de culturas ao nível do solo, não é de desprezar a comparação de informação que possa ser dada por ambos (Silva et al., 2020).

Neste caso de estudo a polarização afeta significativamente, em ambas as variedades de oliveira, os resultados obtidos, ainda que com coeficientes de variação idênticos, ligeiramente mais baixos na variedade ‘Cobrançosa’ instalada numa parcela de topografia mais uniforme que a variedade ‘Galega vulgar’.

As Figuras 37, 38 e 39 mostram os padrões espaciais para os índices NDVI, NDWI e RADAR da variedade ‘Galega vulgar’.

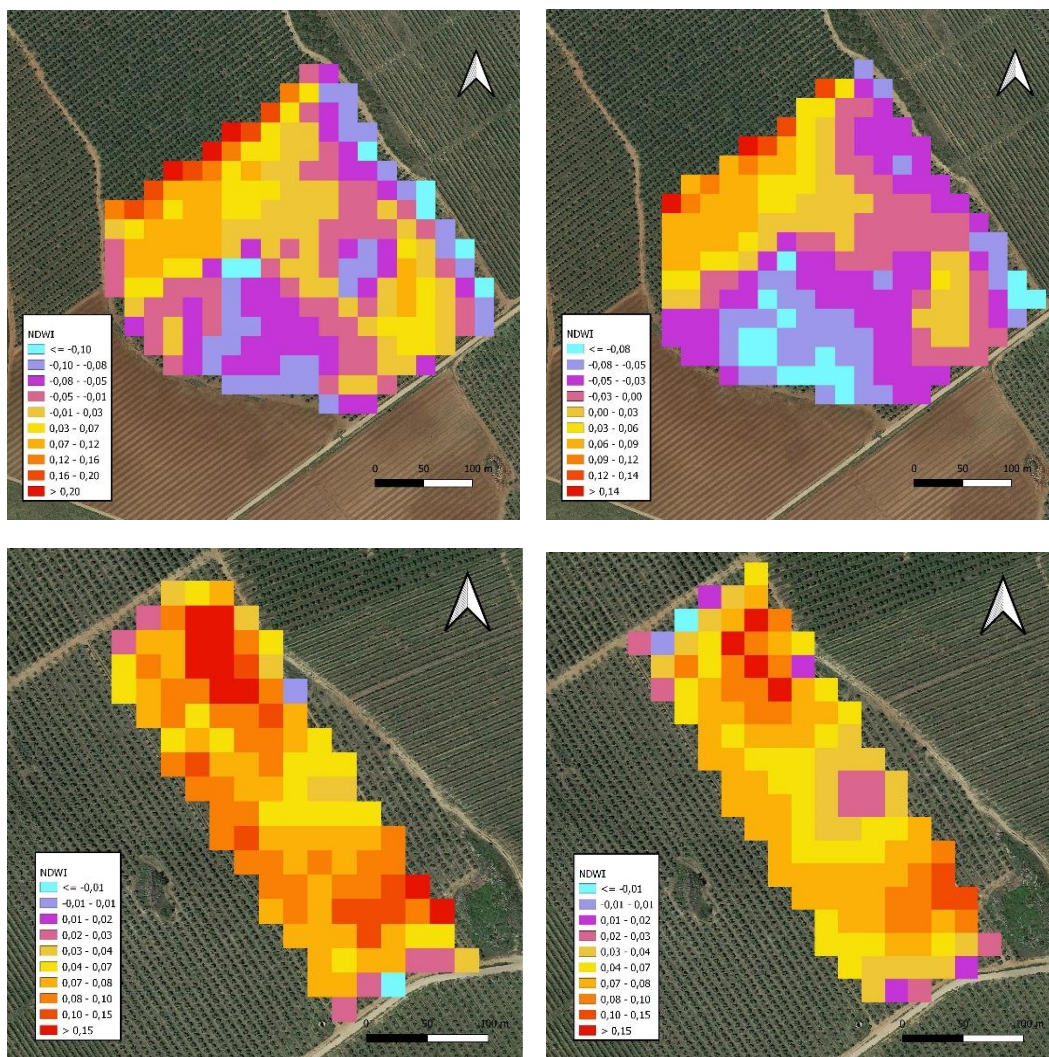
A observação das cartas do padrão espacial para o índice NDVI explica, em ambos os casos, o baixo coeficiente de variação deste índice à data de colheita. Ainda assim, com uma distribuição espacial idêntica ao observado ao longo do ciclo da cultura, nomeadamente para o caso da variedade ‘Galega vulgar’ com zonas mais baixas da parcela com valores mais altos de NDVI, excetuando-se em ambas as parcelas os valores mínimos observados na escala em cor encarnada localizados na respetiva bordadura ou em zonas sem vegetação.





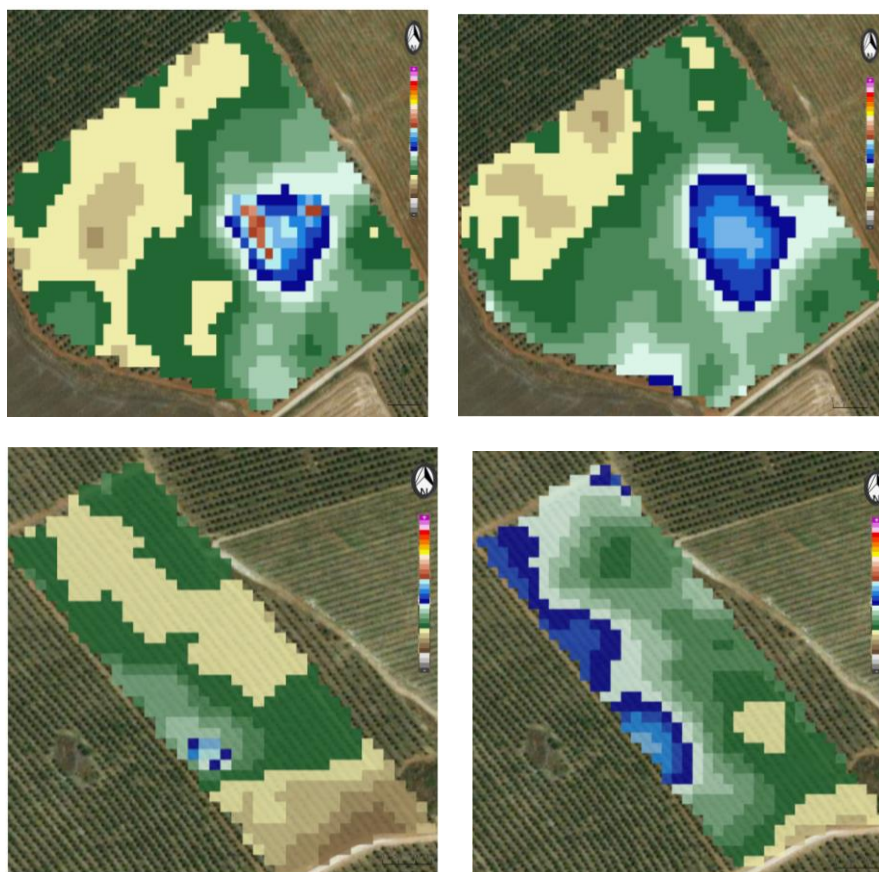
**Figura 37- Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice NDVI da variedade ‘Galega vulgar’ no todo da parcela (em cima à esquerda) e na linha da cultura (em cima à direita), e da variedade ‘Cobrançosa’ no todo da parcela (em baixo à esquerda) e na linha da cultura (em baixo à direita)**





**Figura 38 - Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice NDWI da variedade 'Galega vulgar' no todo da parcela (em cima à esquerda) e na linha da cultura (em cima à direita), e da variedade 'Cobrançosa' no todo da parcela (em baixo à esquerda) e na linha da cultura (em baixo à direita).**

De forma idêntica ao observado ao longo do ciclo da cultura, também a carta do índice NDWI mostra um valor de CV mais elevado que o do NDVI, mas com um padrão espacial idêntico como observado nas respetivas cartas, com bastante variabilidade na parcela da variedade 'Galega vulgar' e mais uniforme na variedade 'Cobrançosa'.



**Figura 39- Carta do padrão espacial da cultura à data da colheita do índice RADAR da variedade ‘Galega vulgar’ projeção VH (em cima à esquerda) e projeção VV (em cima à direita), e da variedade ‘Cobrançosa’ projeção VH (em baixo à esquerda) e projeção VV (em baixo à direita).**

Sendo o índice RADAR um índice fortemente relacionado com o tipo de superfície que avalia, as cartas do padrão espacial do índice RADAR mostram uma evidência grande na parcela da variedade ‘Galega vulgar’ com valores mais altos independentemente da polarização nas zonas mais altas da parcela e vice-versa. Também aqui a maior uniformidade da topografia da parcela da variedade ‘Cobrançosa’ pode ter dado origem a um padrão espacial mais uniforme, nomeadamente na polarização VH, mais relacionada com alvos correspondentes a copas de culturas permanentes.

#### 4.2.2 Produtividade, Biometria da copa, IM e GMS

O Quadro 6 mostra a estatística descritiva e coeficiente de variação dos parâmetros de Produtividade, biometria da Superfície da Copa e Volume da Copa, Índice de Maturação e teor de Gordura na Matéria Seca. A Figura 40 mostra para ambas as variedades de oliveira as cartas com o padrão espacial da Produtividade e biometria da copa.

**Quadro 6 - Valores mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação dos parâmetros Produtividade (P), Superfície da Copa (SC), Volume da Copa (VC), Índice de Maturidade (IM) e teor de Gordura na Matéria Seca (GMS) registados à data da colheita para a variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo).**

|                          | Min    | Max    | Média  | Dp     | CV (%) |
|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SC (m <sup>2</sup> )     | 10,3   | 16,1   | 13,3   | 2,0    | 15,0   |
| VC (m <sup>3</sup> )     | 22,4   | 39,6   | 32,2   | 5,8    | 18,1   |
| P (Kg ha <sup>-1</sup> ) | 4541,7 | 7318,0 | 6474,4 | 1438,3 | 22,2   |
| IM                       | 4,01   | 4,08   | 4,2    | 0,1    | 2,4    |
| GMS (%)                  | 33,65  | 34,9   | 34,23  | 0,63   | 1,84   |

|                          | Min    | Max     | Média | Dp     | CV (%) |
|--------------------------|--------|---------|-------|--------|--------|
| SC (m <sup>2</sup> )     | 8,5    | 12      | 10,4  | 1,6    | 15,3   |
| VC (m <sup>3</sup> )     | 11,6   | 17,4    | 13,8  | 2,4    | 17,6   |
| P (Kg ha <sup>-1</sup> ) | 6656,7 | 10746,5 | 8291  | 1701,6 | 20,5   |
| IM                       | 2,95   | 3,84    | 3,3   | 0,33   | 10,2   |
| GMS (%)                  | 37,93  | 39,37   | 38,65 | 0,72   | 1,86   |

Comparativamente à variedade ‘Cobrançosa’, a variedade ‘Galega vulgar’ caracteriza-se por uma árvore de porte médio a grande, maior que a ‘Cobrançosa’, grande rusticidade e acentuada alternância de produção, e fraco ou média produção em azeite (Leitão, 1986; Piçarra, 2002). Verifica-se que a variedade ‘Galega vulgar’ apresenta valores médios da SC e do VC superiores aos da ‘Cobrançosa’, e valores mais baixos de produção e GMS. Em Portugal e para as variedades em estudo, a média da produção por hectare oscila entre os 6000 kg e os 8000 kg (Vivas, 2018; Ferreira, 2019), valores um pouco mais

elevados para a variedade ‘Cobrançosa’, podendo esta, em anos de safra, ultrapassar as 8 t/ha.

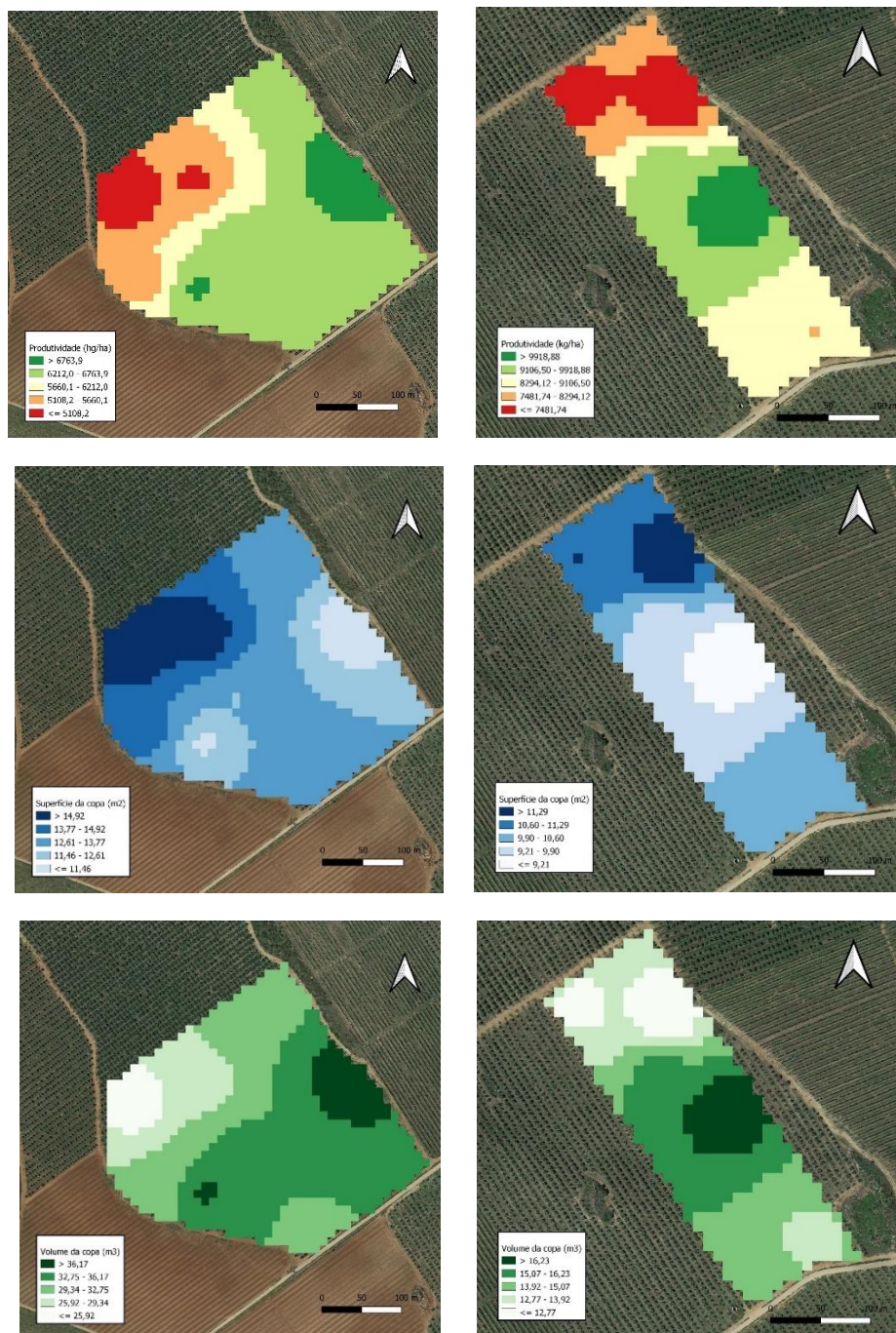
No presente estudo pode-se afirmar que para a região do Alentejo a produção esperada para ambas variedades se insere no intervalo médio referido, uma vez que correspondem a valores de 8291 kg/ha na variedade ‘Cobrançosa’ e 6474 kg/ha na ‘Galega vulgar’.

Relativamente aos valores médios de produção, o ano climático e o *stress* hídrico identificado ao longo do ciclo cultural, afetando o período de floração pode ter determinado o atual valor de produtividade que também não terá tido a dotação de rega suficiente capaz de ir ao encontro de um teor mais favorável de GMS na fase de maturação. Ainda assim verificam-se valores de IM mais baixos aos descritos por Piçarra (2002) que poderão indicar uma data menos adequada de colheita.

A observação dos coeficientes de variação mostra para qualquer das duas variedades de oliveira uma variabilidade moderada para os parâmetros produtividade, SC e VC (Figura 40).

As cartas do padrão espacial mostram uma presença de valores mais baixos de produtividade nas cotas inferiores da parcela de ‘Galega vulgar’ e vice-versa, onde também se localizam as árvores com maior superfície, mas com menor volume da copa, características possivelmente devidas à forma da copa e operações de poda a que tem sido sujeita. Esta mesma observação é válida para o padrão espacial na variedade ‘Cobrançosa’, mas desta vez com os valores de maior produção a distribuírem-se ao centro da parcela numa cota intermédia entre a zona mais baixa e a zona mais alta, e a zona de mais baixa na cota mais alta. Esta diferença de localização face ao observado na variedade Galega pode uma vez mais ter a ver com a quantidade da água necessária para a satisfazer a cultura se atendermos ao maior coeficiente de variação para o índice NDWI (Quadro 5) nesta parcela e o seu respetivo padrão espacial (ver Figura 38).





**Figura 40- Cartas do padrão espacial das variedades 'Galega vulgar' e 'Cobrançosa' para Produtividade (em cima), SC (ao centro) e VC (em baixo).**

### 4.3 Análise de correlação e modelação

O Quadro 7 mostra a análise de correlação dos parâmetros de produção e índices vegetativos à data de colheita para ambas as variedades de oliveira.

**Quadro 7 - Análise de correlação dos parâmetros de produção e índices vegetativos à data de colheita para a variedade ‘Galega vulgar’ (em cima) e para a variedade ‘Cobrançosa’ (em baixo) (valores a negrito representam valores estatisticamente significativos  $p < 0,05$ ).**

|            | SC    | VC           | P            | IM           | GMS         | NDVI        | NDVI'       | NDWI  | NDWI' | RADAR (VH)  | RADAR (VV) |
|------------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------|-------|-------------|------------|
| SC         | 1,00  |              |              |              |             |             |             |       |       |             |            |
| VC         | 0,11  | 1,00         |              |              |             |             |             |       |       |             |            |
| P          | -0,11 | <b>-0,49</b> | 1,00         |              |             |             |             |       |       |             |            |
| IM         | -0,16 | <b>0,48</b>  | <b>-0,88</b> | 1,00         |             |             |             |       |       |             |            |
| GMS        | -0,06 | 0,25         | <b>-0,75</b> | <b>0,84</b>  | 1,00        |             |             |       |       |             |            |
| NDVI       | 0,48  | -0,09        | -0,46        | 0,47         | 0,48        | 1,00        |             |       |       |             |            |
| NDVI'      | 0,18  | -0,07        | <b>-0,58</b> | <b>0,61</b>  | <b>0,66</b> | <b>0,84</b> | 1,00        |       |       |             |            |
| NDWI       | 0,35  | 0,07         | -0,19        | 0,33         | 0,23        | <b>0,76</b> | 0,42        | 1,00  |       |             |            |
| NDWI'      | 0,21  | 0,07         | -0,33        | 0,44         | 0,24        | <b>0,82</b> | <b>0,60</b> | 0,09  | 1,00  |             |            |
| RADAR (VH) | 0,09  | <b>-0,47</b> | <b>0,83</b>  | <b>-0,09</b> | -0,18       | -0,36       | -0,06       | -0,02 | -0,19 | 1,00        |            |
| RADAR (VV) | 0,13  | <b>-0,60</b> | 0,80         | <b>-0,08</b> | -0,17       | -0,22       | -0,05       | 0,07  | -0,10 | <b>0,97</b> | 1,00       |

|            | SC           | VC           | P     | IM          | GMS         | NDVI        | NDVI'       | NDWI | NDWI' | RADAR (VH)  | RADAR (VV) |
|------------|--------------|--------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|-------|-------------|------------|
| SC         | 1,00         |              |       |             |             |             |             |      |       |             |            |
| VC         | 0,94         | 1,00         |       |             |             |             |             |      |       |             |            |
| P          | <b>-0,60</b> | <b>-0,50</b> | 1,00  |             |             |             |             |      |       |             |            |
| IM         | -0,36        | -0,18        | -0,33 | 1,00        |             |             |             |      |       |             |            |
| GMS        | <b>-0,68</b> | <b>-0,63</b> | 0,02  | <b>0,73</b> | 1,00        |             |             |      |       |             |            |
| NDVI       | 0,36         | -0,14        | -0,13 | <b>0,65</b> | <b>0,75</b> | 1,00        |             |      |       |             |            |
| NDVI'      | 0,41         | -0,22        | -0,05 | <b>0,74</b> | <b>0,83</b> | <b>0,99</b> | 1,00        |      |       |             |            |
| NDWI       | 0,29         | -0,10        | -0,29 | 0,40        | <b>0,63</b> | <b>0,95</b> | <b>0,90</b> | 1,00 |       |             |            |
| NDWI'      | 0,28         | -0,07        | -0,3  | 0,36        | <b>0,56</b> | <b>0,94</b> | <b>0,87</b> | 0,09 | 1,00  |             |            |
| RADAR (VH) | <b>-0,59</b> | -0,30        | 0,20  | -0,08       | 0,06        | -0,07       | -0,07       | 0,06 | 0,05  | 1,00        |            |
| RADAR (VV) | <b>-0,58</b> | -0,34        | 0,07  | -0,07       | 0,82        | -0,18       | -0,09       | 0,10 | 0,01  | <b>0,96</b> | 1,00       |

A análise de correlação dos parâmetros observados através de modelos de regressão linear simples confirma algumas das observações feitas sobre os respetivos padrões espaciais, nomeadamente que:

- A produtividade está em ambas as variedades de oliveira correlacionada negativamente com os índices NDVI e NDWI tanto do todo da parcela como da linha da cultura, sendo essa correlação mais evidenciada e significativa para o valor encontrado na linha da variedade ‘Galega vulgar’ ( $r = -0,58$  para NDVI');
- A Produtividade e VC correlacionam-se de forma significativa negativamente em ambas as variedades ( $r = -0,49$  ‘Galega vulgar’;  $r = -0,50$  ‘Cobrançosa’). Esta observação e a anterior mostram que árvores com mais vigor e volume de copa não estão necessariamente relacionadas com maior produção;



- Em ambas as variedades de oliveira, existe uma correlação significativa entre IM e GMS, o que faz sentido, pois para um estado de maturação mais avançado é suposto encontrar maior teor de gordura na matéria seca;
- O índice NDWI' (NDWI na linha da cultura) está significativamente correlacionado com o IM e a GMS, em ambas as variedades, assumindo valores na variedade 'Cobrançosa' ( $r=0,74$  e  $r=0,83$ , respetivamente) ligeiramente superiores que no caso da variedade 'Galega vulgar' ( $r=0,61$  e  $r=0,66$ , respetivamente);
- A Produtividade e SC têm, para o caso da variedade 'Cobrançosa', uma correlação significativa negativa ( $r= -0,60$ ), o que não é tão evidente na variedade 'Galega vulgar', muito possivelmente condicionada pelo porte e tipo de poda desta variedade;
- Também no caso da variedade 'Cobrançosa', a característica da SC descrita pode estar na origem de uma correlação significativa dos índices RADAR, VH e VV em que ao aumento da SC diminui o sinal de qualquer daqueles indicadores ( $r=-59$  para VH,  $r=-58$  para VV);
- Ambos os índices RADAR, independentemente da variedade de oliveira, correlacionam-se positiva e significativamente.

## 4.4 Análise económica e medidas de correção

O quadro 8 mostra uma relação entre a receita bruta e os custos de produção, considerando os valores mínimos, máximos e médios de produção de azeitona para as variedades em estudo (Quadro 6).

Os custos de produção/ha associados à variedade 'Galega vulgar' são de 1365€, cerca de 37,1% inferior à média nacional, para o sistema S6 (2169€), e 48,0% inferior à média 15 países membros do COI, enquanto para a 'Cobrançosa' rondam valores médios de 1133€, cerca de 47,7% inferior à média nacional e 56,8% inferior à média 15 países membros do COI (Ferreira, 2019).

Segundo o GPP (2021), o preço médio por kg de azeitona para azeite, nas últimas campanhas, ronda os 0,35€/kg, tendo sido este o valor usado nos cálculos da receita bruta indicada no quadro 8.

Numa primeira análise do quadro 8 pode-se constatar que a receita por hectare é superior para a variedade 'Cobrançosa', uma vez que esta de um modo geral tem produções mais elevadas, apesar da menor SC e VC de copa (ver Quadro 6) comparativamente com a 'Galega vulgar'. Esta diferença pode dever-se a diversos fatores, como a uniformidade de solo verificada na parcela da 'Cobrançosa', o tipo de poda efetuado, e o porte e o vigor mais robusto atribuído

á variedade ‘Galega vulgar’, uma vez que maior vegetação não significa necessariamente maiores produções, indicando por vezes um desequilíbrio entre a parte vegetativa e reprodutiva da planta.

**Quadro 8 - Custos de produção e receita bruta, considerando os valores mínimos, máximos e médios de produção de azeitona, ‘Galega vulgar’ (em cima) e ‘Cobrançosa’ (em baixo).**

| ‘Galega vulgar’ |                |                |
|-----------------|----------------|----------------|
| Rendimento max  | Rendimento med | Rendimento min |
| 2561            | 2266           | 1590           |
| Receita/ha      | Receita/ha     | Receita/ha     |
| 1196            | 901            | 225            |

| ‘Cobrançosa’   |                |                |
|----------------|----------------|----------------|
| Rendimento max | Rendimento med | Rendimento min |
| 3761           | 2902           | 2330           |
| Receita/ha     | Receita/ha     | Receita/ha     |
| 2628           | 1769           | 1197           |

## 5. Conclusões

O primeiro objetivo desta dissertação foi de avaliar o potencial do uso de imagens satélite na interpretação espacial e temporal da variabilidade e na produtividade de duas variedades de oliveira portuguesas.

Pode concluir-se que, através de índices de vegetação NDVI, NDWI e RADAR se consegue detetar uma variabilidade significativa no espaço e no tempo ao longo do ciclo vegetativo da oliveira. Estes índices demonstram ser de grande utilidade na avaliação de parâmetros relacionados com o estado das plantas, como por exemplo o estado hídrico e da variabilidade da condição destas ao longo da parcela.

O segundo objetivo prendeu-se com a aferição da existência de relações entre os índices vegetativos NDVI, NDWI e RADAR com os parâmetros de produtividade (Produtividade, Superfície de Copa, Volume de Copa, Índice de Maturação, Gordura na Matéria Seca). Dadas as correlações fortes (negativas ou positivas) entre estes índices e os referidos parâmetros, conclui-se que com estes índices se consegue observar/antever zonas de maior produção quando relacionadas com a biometria do copado das árvores. No entanto, verificam-se algumas incongruências na variedade 'Galega vulgar', em que pontos da parcela com maior copado não obtiveram necessariamente maiores produções, possivelmente por estarem relacionados com a própria morfologia da variedade, que se apresenta como uma variedade de vigor robusto, ou com a tipologia de poda aplicada.

Identificou-se também que em zonas de maiores valores de NDVI e de NDWI, e em particular de NDVI' e de NDWI', existem paralelamente valores de IM e GMS mais elevados, provavelmente devido a condições mais favoráveis de humidade no solo.

Os resultados parecem indicar que estes índices também podem apresentar vantagens na ótica do planeamento do regime hídrico ao longo do ciclo, levando o olivicultor a focar-se mais e corrigir a situação onde se verificaram valores negativos de NDWI na floração, no endurecimento do caroço e no desenvolvimento do fruto, fases essenciais para assegurar uma boa produção do ano corrente e também do ano seguinte, uma vez que no início do verão simultaneamente ocorre a indução e diferenciação floral.

O índice RADAR apresenta vantagens numa perspetiva de espelhar com maior precisão, uma vez que tem um funcionamento diferente dos outros índices em estudo, a composição da vegetação, diferenciando com maior facilidade a tipologia de cobertura do solo, auxiliando na diferenciação da entrelinha e da linha do olival.

De um modo geral, o uso deste tipo de índices demonstra ser uma ferramenta com bastantes potencialidades numa ótica de apoio ao olivicultor, facilitando não só na tomada de decisão para correção de situações detetadas durante o andamento do ciclo anual da oliveira, mas contribuindo numa perspetiva mais alargada de melhoria dos parâmetros de produtividade.

## 6. Bibliografia

- Albuquerque, M. C. (2019). Digitalização da agricultura é essencial para a competitividade e sustentabilidade. *Governo da República Portuguesa*. Acedido 18 de Maio de 2020 em: <https://www.portugal.gov.pt/pt/gc22/comunicacao/noticia?i=digitalizacao-da-agricultura-e-essencial-para-a-competitividade-e-sustentabilidade>
- Alcino, L. e Mondragão-Rodrigues, F. (2020). Monitorização de olivais através do uso de técnicas de deteção remota. *ResearchGate*, pp. 50-52. Acedido a 15 de Abril de 2021 em: [https://www.researchgate.net/publication/340037330\\_Monitorizacao\\_de\\_olivais\\_atraves\\_do\\_uso\\_de\\_tecnicas\\_de\\_detecao\\_remota](https://www.researchgate.net/publication/340037330_Monitorizacao_de_olivais_atraves_do_uso_de_tecnicas_de_detecao_remota)
- Alcino, L., Rodrigues, F., Silva, J., Lopes, E., Carvalho, G. e Peixe, A. (2020). Modelação de produtividade de uma parcela de azeitona “Galega vulgar” (*Olea europaea*, L) com utilização de imagens de satélite. *ResearchGate*, pp 1-8. Acedido a 18 de Maio de 2020 em: 10.13140/RG.2.2.27146.62404
- Avillez, F. e Carvalho, M. (2015). *Cultivar - Caderno de Análise de Prospetiva*. 2ª Edição. Princípia Editora, Lda. Secção I, pp. 27-40.
- Barroso, J., Peça, J., Dias, A., Pinheiro, A. e Santos, L. (2013). Evolução Técnica em Olivicultura - O Grande Livro da Oliveira e do Azeite – Portugal Oleícola. *Dinalivro*, pp. 79-167. Acedido a 25 de Maio 2020, em: <http://hdl.handle.net/10174/10383>
- Bascou, P. (2019). *Cultivar-Cadernos de Análise e Prospetiva*. 16, GPP. Lisboa. pp. 19-31.
- Beltrame, A., Jardini, M., Jacobsen, R. e Quintanilha, J. (2007). Análise da vegetação em faixas de servidão de linhas de transmissão de energia elétrica. *SBSR*. 13, pp. 5579-5586. Acedido a 25 de Maio de 2020, em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.11.46/doc/5579-5586.pdf>
- Beltrán, G., Río, C., Sánchez, S. e Martínez, L. (2004). Seasonal changes in olive fruit characteristics and oil accumulation during ripening process. *ResearchGate*. 84(13), pp. 1783-1790. Acedida a 1 de Junho de 2020 em: 10.1002/jsfa.1887
- Braga, R., Pinto, P. e Coelho J. C. (2013). Olivicultura de Precisão: Avaliação da Variabilidade espacial da produtividade e qualidade da azeitona e azeite num olival semi-intensivo. *ResearchGate*. Acedido a 1 de Junho de 2020 em: <https://www.researchgate.net/publication/258278128>
- Brubacher, J. P. e Guasselli, L. (2013). Mapeamento da área inundável da planície do rio dos Sinos a partir do índice NDWI, São Leopoldo -RS. *SBSR*. 16, pp. 4540-4547
- Cardoso, J. (1965). *Os Solos de Portugal: Sua Classificação, Caracterização e Génese: a sul do Rio Tejo*. VII, 310f. *Direcção Geral dos Serviços Agrícolas*. Lisboa.

- COI. (1997). *Méthodologie pour la caractérisation primaire des variétés d'olivier*. Projet RESGEN-CT (96/97), Union Européenne/Conseil Oléicole International. Acedido a 3 de Junho de 2020 em: <https://www.internationaloliveoil.org/?lang=fr>
- COI. (2011). *Guide for the determination of the characteristics of oil-olives*. Acedido a 5 de Junho de 2020 em: <https://www.internationaloliveoil.org/what-we-do/chemistry-standardisation-unit/standards-and-methods/>
- COI. (2015). *International Olive Oil Production Costs Study*. Acedido a 25 de Maio de 2020 em: <https://www.internationaloliveoil.org/646-olive-oil-production-costs-analysed-in-international-study-published-by-international-olive-council/>
- Conceição, L e Mondragão-Rodrigues, F. (2020). Monitorização de olivais através do uso de técnicas de deteção remota. *Agrotec-Olivicultura*. Acedido a 15 de Julho de 2020 em: [http://www.agronegocios.eu/noticias/monitorizacao-de-olivais-atraves-do-uso-de-tecnicas-de-detecao-remota/?fbclid=IwAR2H4tvKKju9ZH9WuK9ax\\_YB73WKHdOJH8Ga7M2NnnjwYYbifcVYW2iM5Vk](http://www.agronegocios.eu/noticias/monitorizacao-de-olivais-atraves-do-uso-de-tecnicas-de-detecao-remota/?fbclid=IwAR2H4tvKKju9ZH9WuK9ax_YB73WKHdOJH8Ga7M2NnnjwYYbifcVYW2iM5Vk)
- Cordeiro, A. (2014). *Momento ótimo de colheita da azeitona*. Workshop Boas Práticas Agroambientais na Fileira do Azeite. INIAV. Beja.
- Cordeiro, A. e Martins, P. (2002). Épocas de Floração de Variedades de Oliveira na Região de Elvas. *Melhoramento*, 38, pp. 205-214. Acedido a 25 de Maio de 2020 em: <https://1library.org/document/zk0e7npy-%C3%A9pocas-de-flora%C3%A7%C3%A3o-de-variedades-oliveira-regi%C3%A3o-elvas.html>
- Cordeiro, A., Inês, C., Quintans, F., Mouro, F. e INIAV (2016). A fenologia da maturação e a oportunidade de colheita da azeitona. *Oleavitis*, pp. 10-12. Acedido a 20 de Abril em: <https://www.vidarural.pt/wp-content/uploads/sites/5/2016/07/artigo-completo..pdf>
- DGADR. (2018). *Dotações de Referência para a Rega em Portugal Continental*. Acedida a 20 de Agosto de 2020 em: [https://www.dgadr.gov.pt/eficiencia-hidrica/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua?fbclid=IwAR0kwPNdcr8K2WyJ\\_1YkLWYv16sKSLR211TV\\_dIJONMb8FRHI\\_IgshzUaiM](https://www.dgadr.gov.pt/eficiencia-hidrica/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua?fbclid=IwAR0kwPNdcr8K2WyJ_1YkLWYv16sKSLR211TV_dIJONMb8FRHI_IgshzUaiM)
- DGADR. (2020). *Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo*. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: <https://www.dgadr.gov.pt/nota-explicativa?fbclid=IwAR1txEdN1C730D2K0qSFql7jFZNTN5A3bXl4SIFOnpBSyXtF32Dmdc8Dpr8>
- Eastman, T. E., Rostoker, G., Frank, L.A., Huang, C.Y. e Mitchell, D. G. (1988). Boundary layer dynamics in the description of magnetospheric substorms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 93(A12), pp. 14411-14432. Acedido a 1 de Setembro de 2020 em: <https://doi.org/10.1029/JA093iA12p14411>
- Embrapa. (2021). *SENTINEL-Missão Sentinel*. Acedido a 1 de Setembro de 2020 em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>

- EOS. (2021). *Índice de Água Diferença Normalizada*. Acedido a 1 de Setembro de 2020 em: [https://eos.com/make-an-analysis/ndwi/?fbclid=IwAR1Q8LekIEhFL5KM\\_1VyxwrFjLIAN-9YI3ZNERRPuw9emTkzn5s3eM1F\\_X0](https://eos.com/make-an-analysis/ndwi/?fbclid=IwAR1Q8LekIEhFL5KM_1VyxwrFjLIAN-9YI3ZNERRPuw9emTkzn5s3eM1F_X0)
- Eurostat. (2019). *Comércio de azeite da EU*. Acedido a 20 de Abril de 2020 em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20191108-1>
- Falcão, J.M. (2019). *Utilização de imagens de satélite para a otimização produtiva do olival superintensivo (cv. Arbosana)*. Tese de Mestrado- ISA-UL. Lisboa. 86 páginas
- Ferreira, M. C. (2019). *Avaliação dos Custos de produção de Seis Variedades Tradicionais de Oliveiras no Alentejo*. Relatório de Estágio de Mestrado em Agricultura Sustentável. Instituto Politécnico de Portalegre – Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas.
- Forkuor, G., Conrad, C., Thiel, M., Ullmann, T. e Zoungrana, E. (2014). Integration of Optical and Synthetic Aperture Radar Imagery for Improving Crop Mapping in Northwestern Benin, West Africa. *Remote sensing*. 6(7), pp. 6472-6499. Acedido a 10 de Setembro de 2020 em: <https://doi.org/10.3390/rs6076472>
- Gao, B-C. (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *ELSEVIER*, pp. 257-266.
- Gomes, D. (2017). *Uso de Imagens Sentinel-2 na Identificação de Áreas com Infestação do Capim-anonni-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS*. Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Porto Alegre.
- GPP. (2020). *Sistema de Informação sobre o Azeite e a Azeitona de mesa*. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: <https://www.gpp.pt/index.php/estatisticas-e-analises/siaz-sistema-de-informacao-sobre-o-azeite-e-a-azeitona-de-mesa>
- GPP. (2021). *Azeitona: cotações*. Acedido a 20 de Fevereiro de 2022 em <https://www.inforcna.pt/post/azeitona-cotacoes/1698>
- INE. (2020a). *Superfície das principais culturas agrícolas (ha) por localização geográfica (região agrícola) e espécie*. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_indicadores&indOcorrCod=000019&contexto=bd&selTab=tab2](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=000019&contexto=bd&selTab=tab2)
- INE. (2020b). *Boletim Mensal da Agricultura e Pescas- Fevereiro 2020*. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine\\_main&xpid=INE&xlang=pt](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE&xlang=pt)
- Inês, C. (2015). *Variedades de olivo: caracterización de los primeros estadios del desarrollo vegetativo y reproductivo*. Tese de Doutoramento. Universidad de Extremadura – Facultad de Ciencias - Departamento de Biología Vegetal, Ecología y Ciencias de la Tierra. Badajoz.
- Inês, C. e Cordeiro, A. (2018). Fenologia da oliveira e práticas culturais de “mãos dadas”. *Oleovitis*. 34, pp. 14-16.



- Instituto Nacional de Estatística (INE) (2019). Estatísticas de Áreas, Produção, consumo, emprego e económicas. Acedido em 20 de Maio de 2020 em [https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine\\_main&xpid=INE](https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE)
- IPMA. (2020). *Normais Climatológicas*. Acedido a 20 de Novembro de 2020 em: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- IPMA. (2021). *Área educativa – Satélites Meteorológicos*. Acedido a 5 de Janeiro de 2022 em: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/observar.tempo/index.jsp?page=satelite03.xml&print=true>
- JRCEC. (2011). *NDWI: Normalized Difference Water Index*. Version1. Institute for Environment and Sustainability. Acedido a 20 de Novembro de 2021 em: [https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet\\_ndwi.pdf](https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf)
- Leitão, F., Potes, M., Calado, M. e Almeida, F. (1986). *Descrição de 22 Variedades de Oliveiras Cultivadas em Portugal*. 85(2). Direção-Geral de Planeamento e Agricultura. Lisboa.
- Lissner, J. e Guasselli, L. (2013). Variations of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Itapeva-RS lake, north coast of Rio Grande do Sul, Brazil, from temporal series analysis. *ScieloBrazil*. 25(2), pp. 427-440. Acedido a 20 de Novembro de 2021 em: <https://doi.org/10.1590/S1982-45132013000200016>
- Marques, F. (2018). *Utilidade agronómica dos índices NDVI e NDWI obtidos por imagens dos satélites Sentinel-2: estudos de caso nas culturas de Trigo, Brócolo e Arroz*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica. Universidade de Évora – Escola de Ciências e Tecnologia. Évora.
- Martins, I. (2019). Azeite já representa 9% do valor da produção agrícola nacional. *Vida Rural*. Acedido a 11 de Junho de 2020 em: <https://www.vidarural.pt/agroindustria/azeite-ja-representa-9-do-valor-da-producao-agricola-nacional/>
- Matos, M. V. (2017). *Fileira do Azeite: visão aos próximos 20 anos*. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: <http://vozdocampo.pt/2017/10/17/fileira-do-azeite-visao-os-proximos-20-anos/>
- Maya, M. (2019). Fileira do Olival e Azeite. *Millenium Agro News*. 1, pp. 2-20
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Remote Sensing*. 17(7), pp. 1425-1432. Acedido a 10 de Setembro de 2021 em: 10.1080/01431169608948714
- Mehta, K. T. e Vivek, S. (2001). E-Commerce: The Next Global Frontier For Small Businesses. *Journal of Applied Business Research (JABR)*, 17(1). Acedido a 13 de Outubro de 2020 em: <https://doi.org/10.19030/jabr.v17i1.7250>
- Molin, P., Ferraz, S., Cassiano, C. (2017). *Sensoriamento Remoto - Introdução e Índices de Vegetação*. Departamento de Ciências Florestais ESALQ / USP. Acedido a 11 de Novembro de 2021 em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2F>

edisciplinas.usp.br%2Fpluginfile.php%2F4097918%2Fmod\_resource%2Fcontent%2F1%2F4\_Indices%2520de%2520Vegeta%25C3%25A7%25C3%25A3o2017.pdf%3Ffbclid%3DlwAR0f\_v5PwgEHGYQxVDI2VtZL85CNzqhlZ73AtRGRxF0EADH1jfJlCc1RxDc&chunk=true&pdfilename=4\_Indices%20de%20Vegeta%C3%A7%C3%A3o2017.pdf

Moreira, M. A. (2001). *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 1ª Edição. INPE. Brasil

Moreira, M.A., Barroa, M.A., Faria, V.G.C., Adami, M. (2007), Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. *Informe agropecuário*. 28(241), pp. 27-37. Acedido a 20 de Janeiro de 2022 em: <http://www.dsr.inpe.br/laf/cafesat/publicacoes.html>

NASA. (2021). *What is Remote Sensing*. Acedido a 12 de Dezembro de 2021 em: <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>

NASA. (2020). *What is Synthetic Aperture Radar?* Acedido a 12 de Dezembro de 2021 em: <https://earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/what-is-sar>

Navero, D., Escobar, R. e Romero, L. (1996). El cultivo del olivo. 7ª Edição. *MundiPrensa*. Madrid (Espanha)

Novo, E., e Ponzoni, F. (2001). *Introdução ao sensoriamento remoto*. INPE. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto

Pearson, R. L., Miller, L. D. e U.S. *International Biological Program (1972). Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grasslands, Colorado*. Fort Collins, Colo: Dept. of Watershed Sciences, College of Forestry and Natural Resources, Colorado State University.

Pereira, C. (2017). *Caracterização da Fenologia de 5 Culturas de Oliveira Tradicionais Portuguesas*. Dissertação de Mestrado em Agrigultura Sustentável. Instituto Politécnico de Portalegre – Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas.

Peres, F., Ramos, A., Vitorino, C., Gouveia, C., Ferreira-Dias, S. e Martins, L. L. (2012). Avaliação da maturação em azeitona ‘Cobrançosa’ e ‘Galega Vulgar’ com recurso a diferentes metodologias baseadas na cor dos frutos. *Atas Portuguesas de Horticultura*. 21, pp 369-374. Acedido a 11 de Maio de 2020 em: <http://hdl.handle.net/10400.5/5725>

Pesce, M., Kivora, M., Soma, K., Bogaardt, M-J., Poppe, K., Thurston, C., Monfort Belles, C., Wolfert, s., Beers, G. e Urdu, D.(2019). Research for AGRI Committee – Impacts of the digital economy on the food-chain and the CAP. *European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies*. Acedido a 9 de Julho de 2020 em: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL\\_STU\(2019\)629192\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2019/629192/IPOL_STU(2019)629192_EN.pdf)

Piçarra, F. (2002). *A influência do período de colheita das azeitonas Galega vulgar, Cordovil de Serpa e Verdeal alentejana, na rentabilização do processamento do azeite*. Instituto Politécnico de Beja - Escola Superior Agrária. Beja.

- ProcessamentoDigital. (2020). *Radar – Características da Missão Sentinel -1*. Acedida a 7 de Novembro de 2021 em: <http://processamentodigital.com.br/2018/08/03/radar-caracteristicas-da-missao-sentinel-1/>
- Rodrigues, M. e Correia, C. (2009). *Manual da Safra e Contra Safra do Olival*. 1, Instituto Politécnico Bragança. Bragança, pp. 69-79. Acedido a 20 de Maio de 2020 em: <http://hdl.handle.net/10198/4191>
- Rouse, J. W., Haas, R.H., Schell, J.A. e Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA*, 1, pp. 309-317. Acedido a 14 de Novembro de 2021 em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
- Saraiva, C. S. (2015). *Avaliação do Potencial das Imagens Sentinel-1 para Identificação de Culturas Agrícolas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geográfica. Universidade de Lisboa – Faculdade de Ciências. Lisboa.
- Santos, G. (2020). *A diferença entre Digitalização e Transformação Digital*. Acedido a 7 de Novembro de 2021 em: <https://www.falandoti.com/a-diferenca-entre-digitalizacao-e-transformacao-digital/>
- Sanz-Cortez, F., Martinez-Calvo, J., Badenes, M. L., Titular, H., Hack, LLacer, G. e MEIER. (2002). Phenological growth atages of olive trees (*Olea europaea*). *Annals of Applied Biologists*. 140(2), pp. 151-157. Acedido a 15 de Outubro de 2021 em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00167.x>
- Seabra, A. M. (2018). *Rentabilidade do Olival Regado no Alentejo*. Dissertação de Mastrado em Engenharia Agronómica. Universidade de Lisboa - Instituto Superior de Agronomia. Lisboa.
- Silva, J. R., López, J. M., Ordóñez, F. J. e Paixão, L. (2020). *Agricultura de Precisão com Imagens de Satélite – Manual de Boas Práticas Agrícolas*. 1, Interreg e INNOACE. Mérida.
- Sousa, A. e Silva, J. (2011). *Fundamentos Teóricos de Deteção Remota*. Universidade de Évora – Departamento de Engenharia Rural. Évora.
- Sousa, C. (2015). *Do Olival ao Lagar Boas Práticas no Maneio do Olival, Colheita da Azeitona e Transporte para o Lagar*. Viseu.
- SROA, S. d. (1964). *Carta da Capacidade do Uso do Solo nº32D/384*. Instituto Politécnico de Portalegre – Escola Superior de Elvas. Elvas.
- União Europeia. (2020). *Farm to fork strategy for a fair, healthy environmentally-friendly food system*. Acedido a 18 de Setembro de 2021 em: [https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy\\_pt](https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_pt)
- Vilar, J., Santos, P, Caño, S., Caldeira, B., Dias, P. e Rosário, L. (2019). *Alentejo: A liderar a Olivicultura Moderna Internacional*. CONSULAI. Portugal

Vivas, P. (2018). *Comportamento fenológico e produtivo de cinco variedades de oliveira portuguesas na região de Elvas*. Dissertação de Mestrado em Agricultura Sustentável. Instituto Politécnico de Portalegre – Escola Superior Agrária de Elvas. Elvas.

# Anexos

## Anexo 1

### Olivo Sanz-Cortés et al, 2002

BBCH-Descripción de las fases fenológicas del olivo  
(*Olea europaea* L.)

| Código                                                          | Descripción                                                                                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Estadio principal 0: Desarrollo de las yemas vegetativas</b> |                                                                                                                                                                     |
| 00                                                              | Las yemas foliares, situadas normalmente en el ápice de los brotes del año anterior, están completamente cerradas y son puntiagudas, sin pedúnculo y de color ocre. |
| 01                                                              | Las yemas foliares comienzan a hincharse y se entreabren, dejando ver los nuevos primordios foliares.                                                               |
| 03                                                              | Las yemas foliares se alargan y se separan de la base.                                                                                                              |
| 07                                                              | Las hojitas exteriores siguen abriéndose sin separarse del todo, permaneciendo unidos los extremos apicales.                                                        |
| 09                                                              | Las hojitas exteriores siguen separándose y las puntas se entrecruzan.                                                                                              |
| <b>Estadio principal 1: Desarrollo de las hojas</b>             |                                                                                                                                                                     |
| 11                                                              | Las primeras hojas se separan del todo, tienen un color gris verdoso                                                                                                |
| 15                                                              | Se separan más hojas pero sin alcanzar su tamaño final. Las primeras hojas adquieren una tonalidad verdosa en el haz.                                               |
| 19                                                              | Las hojas alcanzan el tamaño y forma característicos de la variedad                                                                                                 |
| <b>Estadio principal 3: Desarrollo de los brotes</b>            |                                                                                                                                                                     |
| 31                                                              | Los brotes alcanzan el 10 % de su tamaño final.                                                                                                                     |
| 33                                                              | Los brotes alcanzan el 30 % de su tamaño final.                                                                                                                     |
| 37                                                              | Los brotes alcanzan el 70 % de su tamaño final                                                                                                                      |
| <b>Estadio principal 5: Desarrollo de las inflorescencias</b>   |                                                                                                                                                                     |
| 50                                                              | Las yemas florales, situadas normalmente en las axilas de las hojas, están completamente cerradas y son puntiagudas, sin pedúnculo y con brácteas de color ocre.    |
| 51                                                              | Las yemas florales comienzan a hincharse y se separan de la base mediante un pedúnculo.                                                                             |
| 53                                                              | Las yemas florales se abren: empieza el desarrollo del racimo floral.                                                                                               |
| 54                                                              | Los brazos del racimo floral comienzan a alargarse.                                                                                                                 |
| 55                                                              | Racimo floral totalmente expandido, los botones florales empiezan a abrirse.                                                                                        |
| 57                                                              | La corola, de color verde, es mayor que el cáliz.                                                                                                                   |
| 59                                                              | La corola cambia del color verde al blanco.                                                                                                                         |

## Olivo Sanz-Cortés et al., 2002

BBCH-Descripción de las fases fenológicas del olivo  
(*Olea europaea* L.)

| Código                                           | Descripción                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Estadio principal 6: Floración</b>            |                                                                                                                                  |
| 60                                               | Apertura de las primeras flores.                                                                                                 |
| 61                                               | Comienzo de la floración: alrededor del 10 % de las flores están abiertas.                                                       |
| 65                                               | Plena floración: al menos el 50 % de las flores están abiertas.                                                                  |
| 67                                               | Comienza la caída de pétalos blancos.                                                                                            |
| 68                                               | La mayoría de los pétalos han caído o están marchitos.                                                                           |
| 69                                               | Fin de la floración, cuajado del fruto y caída de ovarios no fecundados.                                                         |
| <b>Estadio principal 7: Desarrollo del fruto</b> |                                                                                                                                  |
| 71                                               | Tamaño de los frutos alrededor del 10 % de su tamaño final.                                                                      |
| 75                                               | Tamaño de los frutos alrededor del 50 % de su tamaño final. Empieza a lignificarse el hueso (presenta resistencia al corte).     |
| 79                                               | Tamaño de los frutos alrededor del 90 % de su tamaño final. Fruto apto para verdeo.                                              |
| <b>Estadio principal 8: Maduración del fruto</b> |                                                                                                                                  |
| 80                                               | El color verde intenso de los frutos se vuelve verde claro, amarillento.                                                         |
| 81                                               | Comienzo de la coloración de los frutos.                                                                                         |
| 85                                               | Aumenta la coloración específica de los frutos.                                                                                  |
| 89                                               | Los frutos adquieren el color característico de la variedad, permaneciendo turgentes. Frutos aptos para la extracción de aceite. |
| <b>Estadio principal 9: Senescencia</b>          |                                                                                                                                  |
| 92                                               | Los frutos pierden su turgencia y empiezan a caer.                                                                               |



