



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Nancy Barbosa de Sousa

**ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL DA
VINHA COM RECURSO À DETEÇÃO REMOTA**

Nome do Curso de Mestrado

Mestrado em Engenharia Agrónómica

Trabalho efetuado sob a orientação da (o)

Professora Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao

Professor Doutor Gonçalo Caleia Rodrigues

Novembro de 2024

As doutrinas expressas neste
trabalho são da exclusiva
responsabilidade do autor.

ÍNDICE

RESUMO	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	vii
LISTAS DE QUADROS	ix
LISTAS DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. A viticultura em Portugal	5
2.2. Região Demarcada dos Vinhos Verdes	7
2.2.1. Clima	9
2.2.2. Casta Loureiro	11
2.3. Fenologia da videira	12
2.4. Monitorização do solo-planta-clima.....	14
2.4.1. Monitorização da água no solo.....	16
2.4.2. Monitorização do estado hídrico da planta.....	17
2.4.3. Monitorização do clima	20
2.4.4. Detecção remota	23
2.5. Objetivos do trabalho	28
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1. Localização do ensaio experimental.....	29
3.2. Caracterização da parcela	30
3.3. Caracterização climática.....	32
3.4. Delineamento experimental.....	33
3.5. Metodologias	35
3.5.1. Registo dos estados fenológicos	35

3.5.2.	Monitorização da água no solo	35
3.5.3.	Potencial hídrico do ramo.....	36
3.5.4.	Deteção remota: aquisição de dados.....	37
3.5.5.	Registo dos componentes do rendimento à vindima	41
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1.	Registos fenológicos.....	42
4.2.	Registo de variáveis climáticas	43
4.3.	Teor de água no solo em cada uma das estratégias de rega.....	46
4.4.	Evolução do potencial hídrico do ramo	48
4.5.	Registo do índice NDVI	53
4.5.1.	Calibração e validação dos dados.....	64
4.6.	Registo da dotação de rega	67
4.7.	Parâmetros produtivos	68
5.	CONCLUSÃO.....	72
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

RESUMO

Em Portugal existem catorze regiões vitivinícolas, sendo a Região dos Vinhos Verdes uma das maiores da Europa e a terceira maior de Portugal relativamente à área de produção.

Para mitigar os efeitos das alterações climáticas torna-se necessário a rega da vinha, pois o stress hídrico em determinados estados fenológicos interfere na qualidade da uva e na produtividade da videira. Contudo, a disponibilidade de água deve ser controlada e adequada para evitar quer o excesso hídrico, tendo como consequência a asfixia radicular, quer o défice hídrico, causando stress hídrico na planta. As necessidades hídricas da planta variam com o teor de água no solo, com as condições climáticas e com o estado fenológico da planta.

Os objetivos do presente trabalho visam a avaliação do estado hídrico da *Vitis Vinífera* cv. Loureiro submetidas a diferentes estratégias de rega e a determinação dos coeficientes culturais da *Vitis Vinífera* cv. Loureiro através de técnicas de deteção remota, comparando a abordagem do balanço hídrico do solo e os índices de vegetação.

A metodologia adotada permitiu calcular a evapotranspiração da cultura através de dados diários disponibilizados por uma estação meteorológica; a monitorização do teor de água no solo, através de uma sonda capacitiva portátil; a monitorização do estado hídrico da planta, através de uma câmara de pressão (modelo Scholander), determinando o potencial hídrico de ramo; o índice de vegetação NDVI, através da aquisição de imagens de satélite e de veículo aéreo não tripulado e para posteriormente calibrar e validar os valores de NDVI e Kcb.

Palavras-chave: Vinhos Verdes; casta Loureiro; Potencial hídrico; Stress hídrico; Produção; Kcb; NDVI

ABSTRACT

In Portugal there are fourteen wine regions, with the Vinho Verde Region being one of the largest in Europe and the third largest in Portugal in terms of production area.

To mitigate the effects of climate change, it is necessary to irrigate the vineyard, as water stress at certain phenological stages affects the quality of the grapes and the productivity of the vines. However, the availability of water must be controlled and adequate to avoid either water excess, resulting in root asphyxia, or water deficit, causing water stress in the plant. The plant's water needs vary according to the water content in the soil, climatic conditions and the phenological state of the plant.

The objectives of this work were to assess the water status of *Vitis Vinifera* cv. Loureiro subjected to different irrigation strategies and to determine the crop coefficients of *Vitis Vinifera* cv. Loureiro using remote sensing techniques, comparing the soil water balance approach and vegetation indices.

The methodology adopted made it possible to calculate the crop's evapotranspiration using daily data provided by a weather station; to monitor the water content in the soil using a portable capacitive probe; to monitor the plant's water status using a pressure chamber (Scholander model), determining the branch's water potential; the NDVI vegetation index by acquiring satellite and unmanned aerial vehicle images and then calibrating and validating the NDVI and Kcb values.

Key words: Vinhos Verdes; cv. Loureiro; Water potential; Water stress; Production; Kcb; NDVI

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação nunca teria sido possível sem o apoio, incentivo e ajuda de várias pessoas às quais gostaria de dar o meu mais sincero agradecimento.

Antes de mais quero agradecer às pessoas mais importantes da minha vida, a toda a minha família, pelo apoio que sempre me deram, pela educação e valores que me incutiram.

A todos os meus amigos por todo o apoio, incentivo, confiança e paciência que disponibilizaram ao longo destes anos.

À Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo, por todos os ensinamentos que me proporcionaram e por todas as pessoas que colocaram no meu caminho, desde docentes, funcionários e amizades que fiz, com certeza que levarei momentos para o resto da minha vida.

Agradeço a todos que de uma maneira ou de outra participaram neste capítulo da minha vida.

À minha orientadora, Professora Doutora Isabel Valín.

A todos os meus colegas que me acompanharam em campo na recolha de dados, Simão Silva e Fernando Portela, o meu muito obrigada por todo o apoio prestado.

A todos os que contribuíram para este meu percurso, o meu muito obrigada e bem hajam.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Taxa fotossintética

a.C. – Antes de Cristo

AP - Agricultura de Precisão

C - Carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

Cm – Centímetros

CR - Ascensão capilar de um lençol freático raso

D_{i-1} - Esgotamento no dia anterior

DP -Percolação profunda para fora da zona da raiz

E – Taxa de transpiração

ESA-IPVC – Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo

ET – Evapotranspiração

ET_c - Evapotranspiração potencial cultural

ET_{c,i} - Evapotranspiração da cultura

ET_o - Evapotranspiração de referência

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

f_c - Fração de cobertura da cultura

ha – Hectares

H₂O – Água

I – Rega

IV – Índice de vegetação

IVV – Instituto da Vinha e do Vinho

K_c – Coeficiente cultural

K_{cb} – Coeficiente cultural basal

Ke - Evaporação

LAI – Índice de área foliar

N - Azoto

NDVI – Normalized Difference Vegetation Index

NIR - Near-infrared spectroscopy (infravermelho próximo)

nm - Nanómetro

OIV – Organização Internacional da Vinha e do Vinho

O₂ – Oxigénio

P – Precipitação

RC – Rega completa

RD – Rega deficitária

RED – Vermelho

RO – Escoamento

RVV – Região dos Vinhos Verdes

SR – Sem rega

Ta - Temperatura do ar

Tf - Temperatura da folha

VANT -Veículo aéreo não tripulado

Ψ_f – Potencial hídrico foliar

Ψ_{st} – Potencial hídrico do ramo

LISTAS DE QUADROS

Quadro 2.1 - Caraterização da área total de vinha nas diferentes regiões de Portugal (IVV, 2022).....	7
Quadro 2.2 - Níveis hídricos, medidos pelo potencial hídrico do pecíolo ao meio-dia solar.	20
Quadro 3.1 - Tubos implementados nas respetivas linhas, nas diferentes estratégias de rega para a monitorização da água no solo, com a sonda Diviner 2000®.	35
Quadro 4.1 – Registo fenológico, no ano de 2020 e 2021, segundo a escala Eichorn & Lorenz.....	42
Quadro 4.2 – Fase fenológica determinado através da escala de Eichorn & Lorenz, modificada por Coombe, referente ao ano de 2020.....	53
Quadro 4.3 - Fase fenológica determinado através da escala de Eichorn & Lorenz, modificada por Coombe, referente ao ano de 2021.....	57
Quadro 4.4 – Valores de NDVI nas diferentes datas, das imagens de satélite e de veículo aéreo não tripulado (VANT).	61
Quadro 4.5 - Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia SR.....	65
Quadro 4.6 - Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia RD.	716
Quadro 4.7 – Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia RC.....	67
Quadro 4.8 -Dotação de rega e respetiva duração nas diferentes datas, nas estratégias RC e RD.....	68
Quadro 0.9 - Parâmetros produtivos nas diferentes estratégias de rega (SR, RD e RC), no ano de 2020 e 2021.....	71

LISTAS DE FIGURAS

Figura 2.1 -Mapa das regiões vinícolas de Portugal (adaptado de IVV, 2016).....	6
Figura 2.2 -Região Demarcada dos Vinhos Verdes e respetivas sub-regiões (adaptado de CVRVV, 2020).....	8
Figura 2.3 - Temperaturas médias anuais no distrito de Viana do Castelo entre os anos de 2000 e 2021 (adaptado de PORDATA, 2022).....	10
Figura 2.4 - Cacho de casta Loureiro no estado fenológico início do amadurecimento dos cachos.....	12
Figura 2.5 - Escala fenológica desenvolvida por Eichorn & Lorenz e posteriormente modificada por Coombe (Steduto et al., 2012).....	14
Figura 2.6 - Sonda de medição da humidade do solo, Diviner 2000® (Fonte: Sentek)....	17
Figura 2.7 - Monitorização do estado hídrico da planta: a) câmara de pressão Scholander; b) representação esquemática da medição do Ψ_{st} (adaptado de Oliveira, s/d).	19
Figura 2.8 - Evapotranspiração de referência (ET _o); evapotranspiração da cultura (ET _c) que utiliza o coeficiente cultural (K _c); evapotranspiração em condições não padronizadas (ET _c aj), que utiliza o coeficiente de stress hídrico (K _s) e cultural ajustado (K _c aj) (adaptado de Allen et al., 1998).....	22
Figura 2.9 - Veículo aéreo não tripulado (VANT), com câmara, utilizado para a obtenção de imagens aéreas.	266
Figura 3.1 - Demarcação das sub-regiões da Região dos Vinhos Verdes (Infovini, 2009).....	29
Figura 3.2 - Localização da parcela em estudo (Google maps, ano da imagem 2023).....	30
Figura 3.3 - Áreas homogêneas (UH1 e UH2) tendo por base a cartas de solos, e as estratégias de rega representadas no retângulo a vermelho a sem rega (SR_1 e SR_2); no retângulo azul a rega deficitária (RD_1 e RD_2); e no retângulo verde a rega completa (RC) (Portela, 2021).	31
Figura 3.4 - Localização da parcela de ensaio: a azul encontra-se a área demarcada do ensaio, a vermelho as videiras marcadas para o estudo e a verde os tubos para avaliação do potencial hídrico em cada uma das estratégias de rega (SR, RD, RC).....	32

Figura 3.5 - Estação meteorológica instalada na ESA-IPVC para registo diário de dados climáticos.....	33
Figura 3.6 - Plano da implementação das diferentes estratégias de rega, rega completa (RC), rega deficitária (RD) e sem rega (SR); as respetivas linhas e a numeração dos tubos de acesso para a determinação da humidade do solo.....	34
Figura 3.7 - Sistema de rega gota a gota implementado na parcela de ensaio, com débito de 4L h ⁻¹ e espaçamento de 1 metro.	34
Figura 3.8 - Monitorização da água no solo: A) sonda portátil Diviner 2000; B) tubo de acesso em PVC.	36
Figura 3.9 – Determinação do potencial hídrico: a) instalação dos sacos para a medição do potencial do ramo; b) medição dos potenciais através da camara de pressão Scholander.	37
Figura 3.10 – Delimitação da área no site Copernicus para extrair as imagens de satélite	38
Figura 3.11 – Parâmetros de filtragem das imagens: período de datas; missão de satélite; plataforma de satélite e tipo de produto.r.	38
Figura 3.12 – Conjunto de processos, representados dentro do retângulo vermelho, para criação de um ortofotomapa..	39
Figura 3.13 – Polígonos, com a mesma área, nas diferentes estratégias de rega..	40
Figura 3.14 – Balança para a pesagem dos bagos e dos cachos para posterior cálculo do rendimento por estratégia de rega.....	41
Figura 4.1 – Estados fenológicos observados, no ano de 2020: A) bago de ervilha (16 de julho); B) início do amadurecimento dos bagos (20 de agosto); C) bagos maduros (dia da vindima, 9 de setembro), no ano de 2021: D) bago de ervilha (1 de julho); E) início do amadurecimento dos bagos (12 de agosto).....	43
Figura 4.2 – Média da temperatura mínima e máxima mensal entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.....	44
Figura 4.3 - Temperatura média mensal entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021..	44

Figura 4.4 – Humidade média e precipitação total entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.	45
Figura 4.5 - Evapotranspiração de referência (ET _o , mm dia ⁻¹) média e evapotranspiração potencial cultural (ET _c , mm dia ⁻¹) média entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.	526
Figura 4.6 - Teor de água no solo (mm), nas diferentes estratégias de rega (SR; RD e RC) no ano de 2020 (A) e 2021 (B) entre o DOY 137 e 254 e o DOY 167 e 249, respetivamente.	698
Figura 4.7 - Potencial hídrico do ramo (MPa) para a vinha com diferentes estratégias de irrigação: completa (RC), rega deficitária (RD) e sem rega (SR), durante o ano de 2020 (A) e 2021 (B). As estratégias não são significativamente diferentes (ns).....	50
Figura 0.8 – Teor de água no solo (mm) e potencial hídrico do ramo (MPa) no ano de 2020 nas diferentes estratégias de rega SR (A), RD (B) e RC (C).....	51
Figura 0.9 - Teor de água no solo (mm) e potencial hídrico do ramo (MPa) no ano de 2021 nas diferentes estratégias de rega SR (A), RD (B) e RC (C).....	52
Figura 4.10 - Índice de vegetação NDVI referente aos dias 7, 24 e 29 de maio, 18 de junho, 18, 21 e 28 de julho, 7, 20 e 27 de agosto de 2020, respetivamente.	56
Figura 4.11 - Índice de vegetação NDVI referente aos dias 4, 17 e 29 de maio; 6, 8, 11 e 26 de junho; 3 e 16 de julho; 12 e 15 de agosto e 4 de setembro de 2021, respetivamente	60
Figura 4.12 – Calibração com os valores de NDVI com o K _{cb} real, para a estratégia SR, forçando a origem.....	64
Figura 4.13 – Calibração com os valores de NDVI com o K _{cb} real, para a estratégia RD.....	65
Figura 4.14 – Calibração com os valores de NDVI com o K _{cb} real, para a estratégia RC, forçando a origem.....	66
Figura 4.15 - Número médio de cachos por videira, em cada estratégia de rega, no ano de 2020 e 2021. Nível de significância: n.s.....	69

Figura 4.16 - Gráfico da produção média por videira, de acordo com a estratégia de rega, no ano de 2020 e 2021. Nível de significância: n.s.....71

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal a primeira referência à viticultura ocorre no século II A.C., em que refere que o consumo de vinho era destinado apenas aos estratos sociais mais ricos, principalmente em épocas festivas (Magalhães, 2008).

Na região do Minho e da Galiza foi onde se deu início ao cultivo da vinha e à produção de vinho de forma sistematizada e técnica, devido ao facto das condições edafoclimáticas serem favoráveis (Feijó e Cardoso, 1990).

A viticultura portuguesa assenta em duas épocas essenciais: a primeira, na época da ocupação romana, em que resultaram as bases da viticultura e os procedimentos de vinificação; a segunda, durante a idade média, em que foi influenciada pela presença das ordens religiosas que contribuiu para o desenvolvimento da produção de vinho, assim como para a introdução do consumo de vinho na dieta alimentar.

É na época do Império Romano que a viticultura tem um grande avanço relativamente ao melhoramento de técnicas vitícolas, como a enxertia e a poda, assim como enológicas, que se irradiam na Península Ibérica, França e Europa Central (Magalhães, 2008).

Com a intensificação das trocas comerciais com a América do Norte, a partir de meados do século XIX, contribuiu para a introdução de agentes de pragas e doenças (filoxera, oídio, míldio, “black-rot”) que se revelam desastrosas para as vinhas europeias. Posto isto, adotaram-se novas técnicas de implantação da vinha, como compassos de plantação, formas de condução, passando de forma livre ou tutorada, para armação (postes e arames), contribuindo para modificações importantes na viticultura, influenciando assim a produtividade da planta e o seu potencial qualitativo.

A partir dos anos 50 e 60 do século XX surge uma modernização da viticultura tornando-se mais mecanizada devido ao facto da escassez de mão-de-obra (Magalhães, 2008).

Atualmente a inovação é um grande motor de desenvolvimento económico, de produtividade e de sustentabilidade. A capacidade de inovar é determinante para a aquisição e manutenção da competitividade num mercado global (Coelho, 2005).

A viticultura moderna evoluiu de uma viticultura em que a parcela era considerada como sendo toda igual, para uma viticultura onde se estuda a parcela com a variabilidade ao longo do espaço e do tempo e com as suas particularidades, no qual se denomina viticultura de precisão (ISPA, 2018). Até há relativamente poucos anos a qualidade dos

vinhos estava associada principalmente aos processos enológicos desenvolvidos na adega, não prestando a mesma atenção à produção e qualidade da uva.

Recentemente numerosos trabalhos referem a importância de considerar o binómio material vegetal-parcela introduzindo o conceito de zonagem (Van Leeuwen *et al.*, 2004).

Em Portugal existem catorze regiões vitivinícolas, sendo estas: Vinho Verde, Trás-os-Montes, Douro, Távora-Varosa, Dão, Bairrada, Beira Interior, Lisboa, Tejo, Península de Setúbal, Alentejo, Algarve, Madeira e Açores (IVV, 2022).

A Região dos Vinhos Verdes (RVV) está demarcada desde 18 de setembro de 1908, caracterizando-se como a terceira maior região demarcada de Portugal com aproximadamente 17.269 hectares, representando 9% da área de vinha portuguesa. A região regista mais de 13 000 vitivinicultores e 380 engarrafadores. Nos últimos anos registou-se uma diminuição do número de vitivinicultores, registando-se 14 000 no ano 2020, enquanto aumentou o número de engarrafadores, 364 nesse mesmo ano (CVRVV, 2023).

Esta região estende-se por toda a área de Entre-Douro-e-Minho, tendo como fronteira, a norte, o rio Minho, a este e a sul zonas montanhosas, e a oeste o oceano Atlântico, sendo regulamentada pela Portaria nº28/2001 de 16 de janeiro e a Portaria nº 291/2009 de 23 de março (IVV, 2016).

Na RVV as principais castas tintas são o Alvarelhão, Amaral, Borraçal, Espadeiro, Padeiro, Pedral, Rabo de Anho e Vinhão. Quanto às castas brancas as principais são o Alvarinho, Arinto, Avesso, Azal, Batoca, Loureiro e Trajadura, sendo a casta Loureiro a mais cultivada (CVRVV, 2019), e a que se encontra em estudo neste trabalho. Esta casta caracteriza-se por ser de maturação precoce, preferindo solos profundos, de fertilidade média, adaptando-se a todas as formas de condução, dando origem a vinhos de tonalidade cítrica (IVV, 2016), de aroma fino e elegante, sabor cítrico (limão) a floral (rosa), ligeiramente ácido, fresco, encorpado, harmonioso e persistente (CVRVV, 2019).

Do ponto de vista agronómico, a fenologia tem especial importância ao elucidar alguns dos fenómenos responsáveis pela variabilidade, ao longo do ano, das culturas, permitindo assim que o produtor disponha de uma ferramenta que o auxilie na escolha adequada das estratégias de rega, da fertilização e da proteção cultural, de forma a obter sistemas de produção mais eficientes (Góis, 2015).

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento das temperaturas médias anuais do ar, variações no déficit e na velocidade do vento, alterando os registros da evapotranspiração potencial (Schultz, 2000; Jones *et al.*, 2005) junto com uma baixa precipitação, fazendo com que cada vez mais seja necessário a rega da vinha (Laget *et al.*, 2008), para garantir a produção e a qualidade dos vinhos, e em algumas situações até a sobrevivência da videira (Fraga *et al.*, 2013). Estes fatores influenciam os processos de fotossíntese, fotorrespiração e transpiração das plantas, sendo os responsáveis no processo de stress hídrico da videira durante o período de crescimento, devido à limitação da disponibilidade de água no solo (Choné *et al.*, 2001).

Devido a estas alterações a agricultura deve adotar estratégias que permitam uma melhor adaptação às alterações climáticas ao nível de um maior controlo da planta e das condições climáticas, com a finalidade de monitorizar com maior rigor a resposta da planta perante as alterações climáticas.

A agricultura de precisão (AP) tem contribuído de forma benéfica, pois permite reduzir os fatores que afetam a produção, sendo alcançado pela correção dos fatores que contribuem para a sua variação, obtendo-se assim um aumento global da produtividade e da qualidade (Inês, 2011).

Para determinar a influência das condições ambientais, assim como culturais, no estado hídrico da videira utilizam-se métodos que compreendem parâmetros fisiológicos que abrangem as condições climáticas e edáficas (Choné *et al.*, 2001). Os métodos existentes mais comuns podem ser estruturados em três grupos, tais como: determinar a disponibilidade de água no solo, em que se inclui o potencial hídrico do solo; determinar o nível máximo de stress hídrico num determinado momento do dia, como por exemplo o potencial hídrico do ramo e determinar parâmetros que abrangem o uso da água num determinado período, como por exemplo o crescimento dos tecidos das plantas (Naor, 2010).

A monitorização das trocas gasosas é outro método que permite determinar se a planta está, ou não, em déficit hídrico, visto que o fecho dos estomas, e como consequência a diminuição da condutância estomática (gs), são dos primeiros processos que ocorrem como resposta da planta ao déficit hídrico (Serrano *et al.*, 2010). O fecho dos estomas, não só minimiza a transpiração, como limita a fotossíntese, uma vez que a irradiação do

CO₂ para as folhas é mais influenciada pela abertura estomática do que a irradiação da água para fora das folhas (Flexas *et al.*, 2002).

A detecção remota pode disponibilizar medições básicas de uma grande variedade de características físicas ou biológicas de uma paisagem, como a sua posição, cor, forma, temperatura e o teor de humidade (Wilkie e Finn, 1996). Vários estudos têm sido realizados com a utilização da detecção remota para determinar as necessidades hídricas e observar as alterações na vegetação (Erena *et al.*, 2012; Boratto e Gomide, 2013; Gandhi *et al.*, 2015). Estes estudos indicam que as técnicas utilizadas pela detecção remota, quando comparadas com os métodos tradicionais, são mais eficientes e precisas.

Os sensores multiespectrais têm sido considerados uma ferramenta de interesse em estudos relacionados com o estado das plantas por terem a capacidade de prever determinados índices espectrais. Estes índices são obtidos através de sensores instalados em plataformas que podem ser espaciais (satélites), aéreas (aeronaves), ou terrestres (aparelhos portáteis) (Govender *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2016). O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) é uma técnica amplamente utilizada para o estudo das características biofísicas da vegetação (Jiang *et al.*, 2006).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma breve revisão da literatura sobre conceitos importantes para o enquadramento, e melhor entendimento do estudo descrito nesta dissertação.

2.1.A viticultura em Portugal

Do ponto de vista da sistemática, a videira pertence à ordem Ramnales, família das Vitáceas ou Ampelídeas (Magalhães, 2008). Esta família inclui 18 géneros, sendo o género *Vitis* o de interesse para a viticultura, (Huglin & Schneider, 1998) e engloba aproximadamente 700 espécies, representando a grande maioria espécies de climas tropicais ou subtropicais espontâneas na América, Ásia e África, não apresentando a maioria qualquer valor agronómico (Magalhães, 2008). As espécies dentro deste género caracterizam-se por serem lenhosas, cujos sarmentos são providos de gavinhas, e apresentam flores geralmente pentâmeras (pétalas em número de cinco ou seus múltiplos), hermafroditas ou polígamas dioicas (Chauvet e Reynier, 1979).

Segundo vários autores a vinha foi introduzida na Península Ibérica pelos Tartéssios, cerca de 2000 anos a.C. e atingiu o auge com a chegada dos Romanos, 210 anos a.C. (Magalhães, 2008).

A viticultura portuguesa assenta em duas épocas essenciais: a primeira, durante a ocupação romana, em que resultaram as bases da viticultura e os procedimentos de vinificação; a segunda, na idade média, que foi influenciada pela presença das ordens religiosas que contribuirão para o desenvolvimento da produção de vinho e para a introdução do consumo de vinho na dieta alimentar (Magalhães, 2008). Segundo a Organização Internacional da Vinha e do Vinho (OIV) (2021) a produção mundial de vinho atingiu, em 2020, os 260 milhões de hectolitros (mhL), em que, Portugal ocupa a 11^a posição e a 4^a posição a nível europeu, com aproximadamente 6,4 mhL e a 10.^o posição na lista de maiores exportadores mundiais, com 3,1 mhL. Quanto à superfície de vinha, em 2020 Portugal localizava-se na 4^a posição na União Europeia, com uma área de 192 401,00 hectares (GPP, 2021).

Em Portugal existem catorze regiões vitivinícolas, tais como: Vinho Verde, Trás-os-Montes, Douro, Távora-Varosa, Dão, Bairrada, Beira Interior, Lisboa, Tejo, Península de Setúbal, Alentejo, Algarve, Madeira e Açores (Figura 2.1) (IVV, 2022).

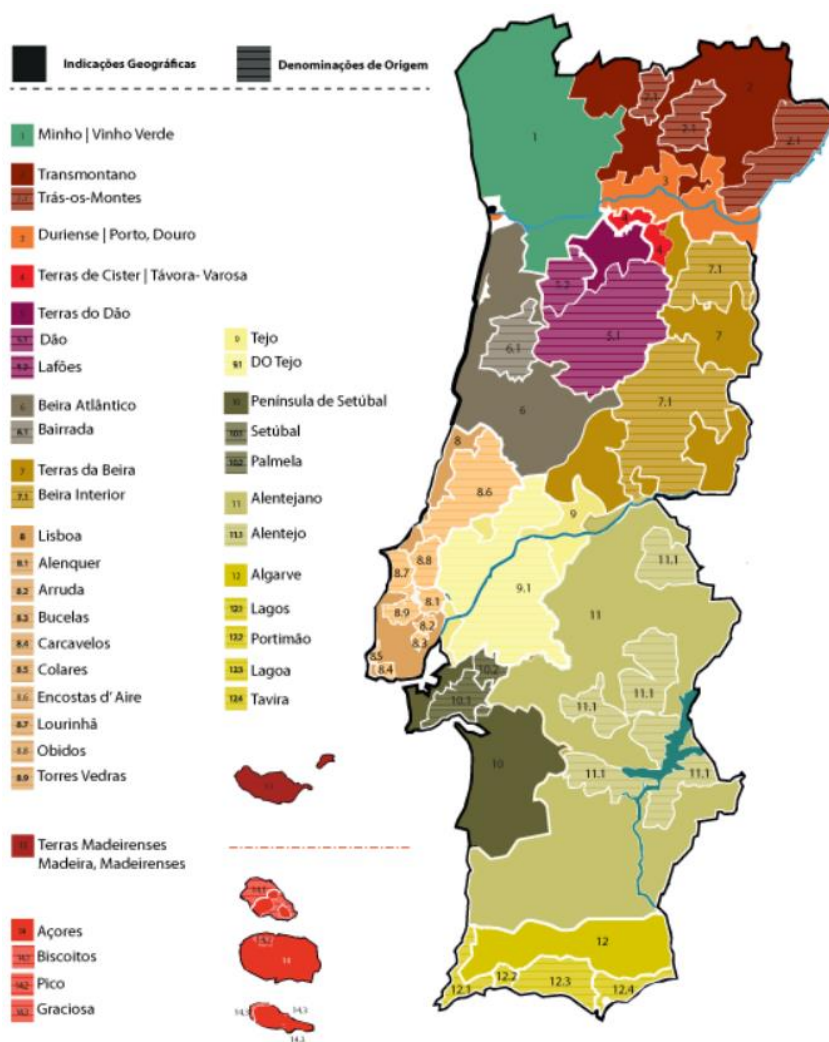


Figura 2.1 -Mapa das regiões vitivinícolas de Portugal (adaptado de IVV, 2016).

De acordo com os dados mais recentes do Instituto da Vinha e do Vinho (IVV, 2022), a área de vinha plantada em 2021 era de aproximadamente 192 029 hectares.

A maior região a nível de área em produção é o Douro, com aproximadamente 44 180 hectares, seguindo-se o Alentejo com 25 460 hectares e em terceiro a Região dos Vinhos Verdes (RVV) com 24 371,07 hectares (Quadro 2.1) (IVV, 2022).

Quadro 2.1 - Caracterização da área total de vinha nas diferentes regiões de Portugal (IVV, 2022).

	Área total (ha)	Percentagem
Madeira	681,00	0,4%
Algarve	1 426,76	0,7%
Açores	1 707,91	0,9%
Távora-Varosa	2 214,88	1,2%
Península de Setúbal	8 026,98	4,2%
Trás-os-Montes	10 701,41	5,6%
Tejo	12 846,59	6,7%
Bairrada	13 258,64	6,9%
Dão	13 408,87	7,0%
Beira Interior	13 874,26	7,2%
Lisboa	19 869,24	10,3%
Minho	24 371,07	12,7%
Alentejo	25 460,87	13,3%
Douro	44 180,26	23,0%
Total	192 028,74	100%

2.2.Região Demarcada dos Vinhos Verdes

A RVV está demarcada desde 18 de setembro de 1908, sendo em termos de área geográfica a maior região demarcada de Portugal e umas das maiores da Europa (CVRVV, s/d). Estende-se por toda a região de Entre-Douro-e-Minho, tendo como fronteira, a norte, o rio Minho, a este e a sul zonas montanhosas, e a oeste o oceano Atlântico (IVV, 2016). A nível das características edafoclimáticas, tem influência atlântica, o clima é ameno e a precipitação elevada. A sua altitude aumenta gradualmente da costa para o interior e os solos são maioritariamente graníticos (CVRVV, s/d). Por questões de variações de tipologia dos solos, microclimas e diversidade de castas, esta região é dividida em nove sub-regiões (Figura 2.2), tais como:

- Amarante: integra os concelhos de Amarante e Marco de Canaveses;
- Ave: inclui os concelhos de Vila Nova de Famalicão, Fafe, Guimarães, Santo Tirso, Trofa, Póvoa de Lanhoso, Vieira do Minho, Póvoa de Varzim, Vila do Conde e o concelho de Vizela, excetuando as freguesias de Vizela (Santo Adrião) e Barrosas (Santa Eulália);
- Baião: abrange os concelhos de Baião, Resende (exceto a freguesia de Barrô) e Cinfães (exceto as freguesias de Travanca e Souselo);

- Basto: integra os concelhos de Cabeceiras de Basto, Celorico de Basto, Mondim de Basto e Ribeira de Pena;
- Cávado: inclui os concelhos de Esposende, Barcelos, Braga, Vila Verde, Amares e Terras de Bouro;
- Lima: integra os concelhos de Viana do Castelo, Ponte de Lima, Ponte da Barca e Arcos de Valdevez;
- Monção e Melgaço: abrange os concelhos de Monção e Melgaço;
- Paiva: engloba o concelho de Castelo de Paiva, e, no concelho de Cinfães, as freguesias de Travanca e Souselo;
- Sousa: abrange os concelhos de Paços de Ferreira, Paredes, Lousada, Felgueiras, Penafiel e algumas freguesias do concelho de Vizela, como Vizela (Santo Adrião) e Barrosas (Santa Eulália) (Figura 2.2) (CVRVV, 2020).

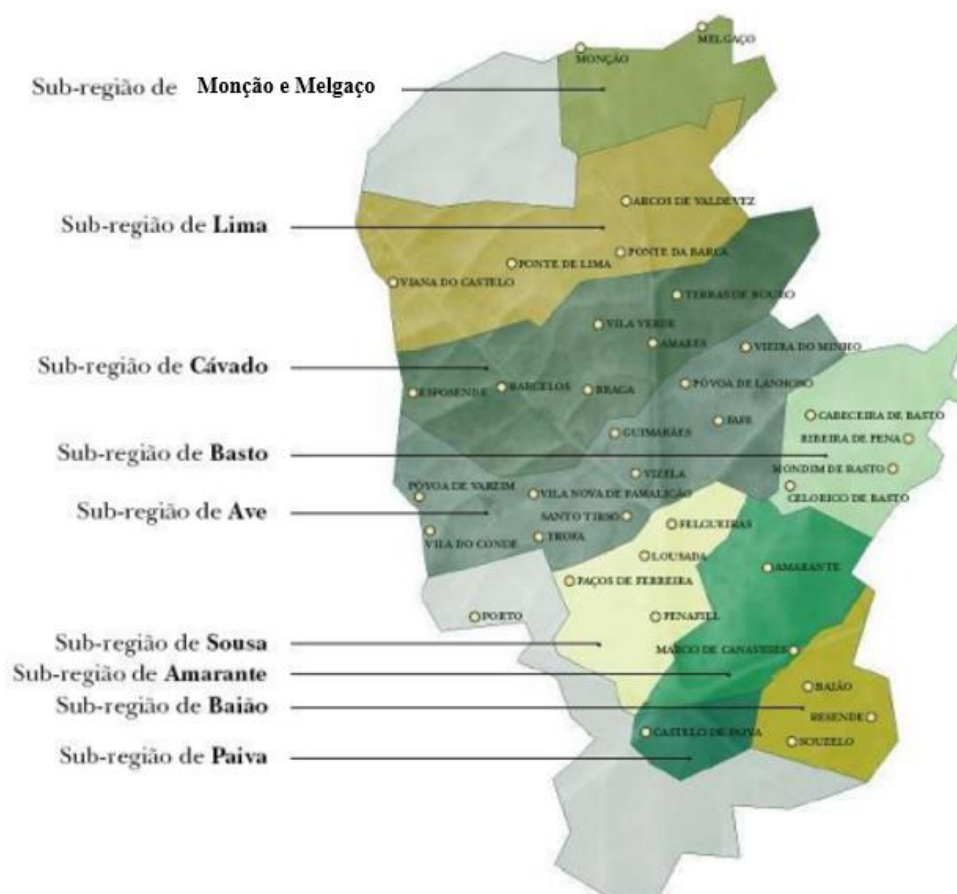


Figura 2.2-Região Demarcada dos Vinhos Verdes e respetivas sub-regiões (adaptado de CVRVV, 2020).

2.2.1. Clima

O clima é um fator de extrema importância para o sucesso não só da viticultura, mas também de todos os setores agrícolas. Este tem influência na adaptação de uma casta a uma determinada região, no controlo da respetiva produção, assim como da sua qualidade e, consequentemente fomentar a sustentabilidade económica (Jones, 2013). As alterações climáticas contribuem para o desenvolvimento de mudanças nos climas e microclimas agrícolas. Segundo vários autores, as alterações climáticas terão impacto nas plantas, mas também no solo e no ambiente que as circunda, destacando-se as seguintes:

- A sanidade das plantas devido ao facto da variação brusca da temperatura e da humidade, tornando mais propício o aparecimento, e uma maior incidência de pragas e doenças, assim como o surgimento de novas doenças e pragas provenientes de climas mais quentes (Walthall *et al.*, 2013);
- A erosão do solo da vinha devido ao acontecimento de fenómenos extremos, especialmente a elevada precipitação num curto período, em que o solo não tem capacidade de retenção hídrica, e esta provoca uma erosão superficial tendo por consequência o arrastamento de terra (Fraga *et al.*, 2016);
- O decréscimo da quantidade de precipitação e por consequência a baixa disponibilidade de água no solo e na atmosfera (Walthall *et al.*, 2013);
- Na fisiologia das plantas, a alteração da duração dos estados fenológicos das mesmas, que se manifesta em períodos de crescimento vegetativos mais longos, com a maturação do fruto mais precoce e por consequência também uma colheita precoce (Walthall *et al.*, 2013);
- Na qualidade da produção, como: escaldão dos bagos; a maturação sofrer paragens ou sub-maturação; secagem dos bagos devido a longos períodos de secas; a diminuição da acidez e o aumento do teor alcoólico da uva (Fraga *et al.*, 2016).

No setor da viticultura, este fator tem uma grande importância no amadurecimento do fruto para a aquisição das características ótimas na produção de vinho de qualidade (Climaco *et al.*, 2012).

O vinho é o resultado de diversas influências que estão muitas vezes integradas no conceito de *terroir*. Este termo diz respeito a influências ambientais, mas também culturais, na produção de uvas e de vinho (Jones, 2015). Por outro lado, o tipo de vinho

que é produzido numa determinada região é o resultado do clima, pois é a variabilidade climática que irá determinar as diferenças na qualidade do *vintage* (Lorenzo *et al.*, 2013).

Deste modo, é essencial ter em consideração o clima a diferentes escalas, principalmente à macroescala (clima sinótico), à mesoescala (clima regional), à topoescala (clima local) e à microescala (clima ao nível da videira e da vinha). O clima engloba diferentes variáveis, nomeadamente a temperatura, a precipitação, a humidade (Jones, 2013), o vento e a radiação solar (Climaco *et al.*, 2012).

Nesta região vitivinícola, o clima é classificado como temperado, sub-húmido e de noites frias. A nível orográfico, apresenta uma elevação desde a orla marítima para o interior, e por isso a região tem uma influência do oceano Atlântico (Climaco *et al.*, 2012).

O clima é atlântico e este é caracterizado por verões relativamente amenos e uma precipitação anual elevada, acima de 1200 mm (Fraga *et al.*, 2014), tendo uma distribuição irregular, mas concentra-se principalmente no período de outono-inverno. Os ventos marítimos têm influência em toda a região, através de frequentes nevoeiros e da elevada humidade relativa do ar, ou de precipitação, sendo por vezes intensa (Climaco *et al.*, 2012).

Na RVV os principais riscos climáticos são as geadas que ocorrem no início da primavera e os granizos a partir de meados de maio (Climaco *et al.*, 2012). No ano de 2020 a precipitação média foi de 1179,7 mm e de 1160,8 mm no ano de 2021. Em relação à temperatura média anual, em 2020 foi de 15,2°C e em 2021 foi de 14,5°C (Figura 2.3).

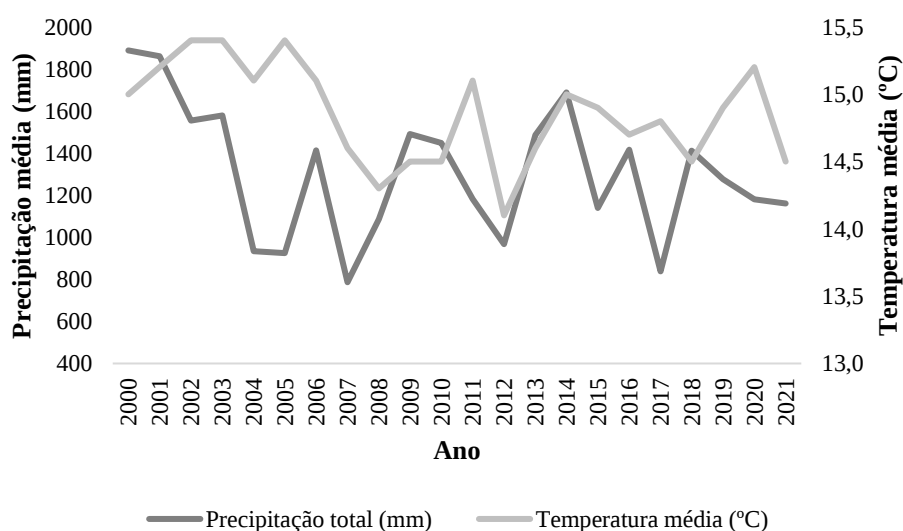


Figura 2.3 -Temperaturas médias anuais no distrito de Viana do Castelo entre os anos de 2000 e 2021 (adaptado de PORDATA, 2022).

Segundo o IPMA (2021), o ano de 2020 foi o 4º ano mais quente dos últimos 90 anos em Portugal continental, classificando-se como muito quente e seco, em que a média da temperatura máxima do ar foi de 21,95°C e a média da temperatura mínima do ar foi de 10,49°C. Quanto ao valor médio de precipitação total anual, foi de 746.8 mm, correspondente a cerca de 85 % do valor normal.

Relativamente ao ano de 2021, Portugal Continental, classificou-se como quente e seco. O valor médio da temperatura máxima do ar, registou 21,31°C, e o valor médio da temperatura mínima do ar, foi de 9,97°C (IPMA, 2022).

Köppen–Geiger classifica o clima onde se encontra a RVV com Csb (C: warm temperature; s: summer dry; b: warm summer) (Kottek *et al.*, 2006).

2.2.2. Casta Loureiro

A casta Loureiro é uma casta branca originária do vale do rio Lima e não é recomendada nas sub-regiões de Amarante, Baião e Basto. Caracterizada por altos níveis de produtividade e fertilidade, mas é bastante sensível ao vento. Prefere solos férteis e perde qualidade com o stress hídrico. Os vinhos provenientes desta casta são marcados pela sua elevada acidez, harmonia e aromas “perfumados”, de cor citrina, muito frescos e elegantes. Normalmente é combinada com outras castas (Trajadura, Arinto, Alvarinho) mas, nos dias de hoje, já é muito utilizada na produção de vinhos monovariais (IVV, 2011). A casta Loureiro possui um abrolhamento aberto, branco, com orla em carmim e tem maturação intermédia. A sua folha quando jovem é verde tendo algumas manchas de cor bronze. Com um porte meio-ereto a horizontal, os seus pâmpanos têm entrenós verdes e nós com estrias avermelhadas na face dorsal e verdes na face ventral. A folha quando adulta atinge um tamanho geralmente médio, pentagonal, é quinquelobada, por vezes trilobada e de cor verde. O seio peciolar é pouco aberto, com base em V e seios laterais em U (Magalhães, 2008). O cacho é normalmente grande, cilindro-cónico e de compacidade média. Os bagos caracterizam-se por ser de tamanho médio e uniforme, de cor verde-amarelada e com película de espessura média (Figura 2.4). Relativamente às grainhas, estas são pouco duras, geralmente uma por bago. Os sarmentos são extensos e vigorosos, com nós relativamente volumosos e entrenós de comprimento médio (IVV, 2011).



Figura 2.4 – Cacho de casta Loureiro no estado fenológico início do amadurecimento dos cachos.

2.3. Fenologia da videira

A palavra fenologia significa “mostrar” ou “aparecer”. A fenologia pode ser designada como o estudo dos estados fenológicos, ou seja, das fases de desenvolvimento das plantas que ocorrem durante o seu ciclo de vida ativo, como resposta às condições climáticas (Gris *et al.*, 2010). Caracteriza-se pela análise de fenómenos biológicos, sendo estes periódicos no mundo animal e vegetal, e são influenciados pelo meio ambiente, especialmente pelas mudanças de temperatura provocadas pelo clima e pelas alterações meteorológicas (Schwartz, 2003).

Isto é especialmente importante na agricultura, devido ao facto de as culturas estarem sujeitas a condições ambientais em constante evolução. Para um determinado ano e local, o agricultor pode alterar estratégias, como por exemplo a rega, de forma a adaptar uma determinada cultura às condições ambientais atuais (Rulm e Vulic, 2005), com a finalidade de manter ou até mesmo melhorar a produtividade anual.

O desenvolvimento da videira é influenciado por aspetos climáticos (Fraga *et al.*, 2017), como temperatura, radiação solar e precipitação, que acabam também por influenciar a produção e a qualidade dos bagos (Moriondo *et al.*, 2015; Andreoli *et al.*, 2019), sendo que a temperatura é o principal fator na fenologia da videira (Gladstones, 2011; Bock *et al.*, 2011). No entanto a disponibilidade de água e nutrientes, e a interação entre os órgãos

da planta e entre a planta com outros seres vivos também tem um papel importante no desenvolvimento da mesma (Schwartz, 2003), assim como no crescimento e na qualidade do bago, determinando a evolução dos estados fenológicos (Góis, 2015).

Os aumentos de temperatura previstos no futuro com cenários prováveis de alterações climáticas podem conduzir ao avanço de 6 a 25 dias para diferentes variedades de videira na Europa (Jones, 2007). Para além disso, espera-se um crescimento acelerado e em contrapartida um encurtamento das fases fenológicas (Jones e Davis, 2000), podendo afetar a composição e a qualidade dos bagos e do vinho (Reis *et al.*, 2020), produzido numa determinada região.

Do ponto de vista agronómico, a fenologia tem peculiar importância ao elucidar alguns dos fenómenos responsáveis pela variabilidade, ao longo do ano, das culturas, permitindo que o produtor disponha de uma ferramenta que lhe auxilia na escolha adequada das estratégias de rega, da fertilização e da proteção cultural de forma a obter sistemas de produção mais eficientes (Góis, 2015). As castas apresentam uma ampla variabilidade genética dentro da espécie *Vitis vinifera* L., que se manifesta nas suas diferentes fases fenológicas. Apesar de as variedades serem vulgarmente bem-adaptadas às condições climáticas específicas das regiões onde tradicionalmente crescem (Schwartz, 2003; Van Leeuwen *et al.*, 2008) elas diferenciam-se na acumulação térmica necessária para um determinado estado fenológico (Reis *et al.*, 2020).

Os modelos fenológicos aplicados à videira são ferramentas importantes para auxiliar na decisão de práticas culturais alocadas aos viticultores e enólogos (Reis *et al.*, 2020).

Para o estudo da fenologia são necessárias ferramentas que permitem a sua sistematização, tais como as escalas fenológicas, que possibilitam a formação de bases, juntamente com as informações climáticas, criar modelos fenológicos que permitam auxiliar o produtor na antecipação do desenvolvimento da cultura (Góis, 2015).

Existem distintas escalas fenológicas que foram desenvolvidas com o objetivo de caracterizar o ciclo cultural da videira. A escala Baggiolini (1952) é a mais divulgada, em que, inicialmente descrevia 16 fenofases, e posteriormente foi ajustada por Baggiolini & Baillod (1993), passando a caracterizar 20 fenofases. Em 1997 surge a escala de Eichorn & Lorenz, caracterizada por ser uma escala mais detalhada que compreende 22 estados fenológicos, representados de forma numérica. Posteriormente esta escala foi modificada

por Coombe, designada por sistema de Eichorn & Lorenz, passando a ser mais pormenorizada, incluindo 47 fenofases (Figura 2.5) (Steduto *et al.*, 2012).

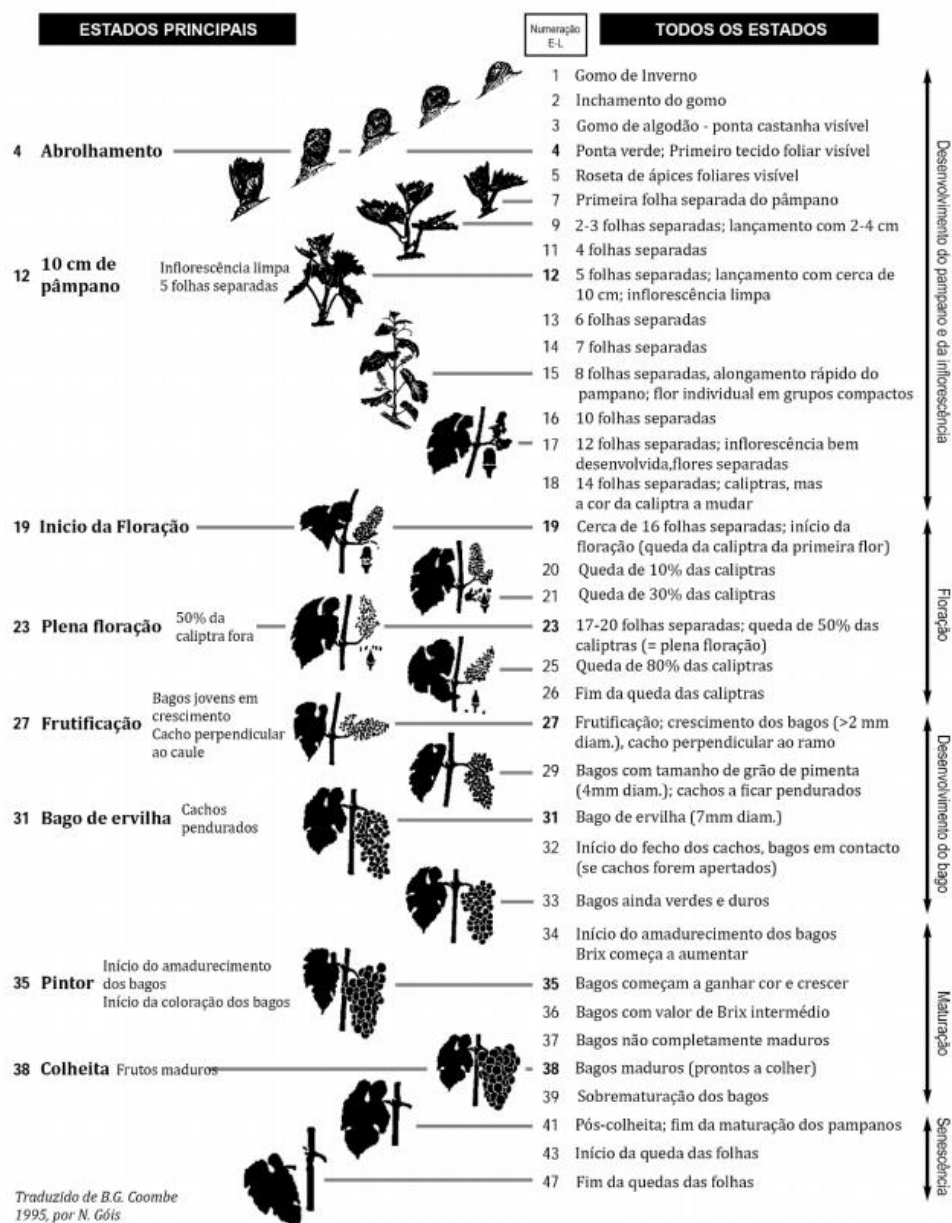


Figura 2.5 - Escala fenológica desenvolvida por Eichorn & Lorenz e posteriormente modificada por Coombe (Steduto *et al.*, 2012).

2.4. Monitorização do solo-planta-clima

Grande parte das vinhas localizam-se em regiões em que a água é um recurso limitante devido à distribuição da precipitação ser irregular ao longo do ano, em que as chuvas se concentram no período de inverno e os verões são quentes e secos (Cifre *et al.*, 2005; Chaves *et al.*, 2007).

A videira (*Vitis vinífera* L.) é uma espécie que frequentemente está sujeita a situações ambientais extremas nos climas em que se desenvolve tradicionalmente (Choné *et al.*, 2001). De acordo com as diversas previsões climáticas que apontam no sentido de uma maior escassez de água, estas regiões tendem a tornar-se cada vez mais áridas nas próximas décadas (Jones *et al.*, 2005; Fraga *et al.*, 2012).

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento das temperaturas médias anuais do ar e da evapotranspiração potencial, assim como precipitação baixa, fazendo com que cada vez mais seja necessário a rega da vinha (Laget *et al.*, 2008), para garantir a produção e a qualidade dos vinhos, e em algumas situações até a sobrevivência da videira (Fraga *et al.*, 2013). Estes fatores influenciam os processos de fotossíntese, fotorrespiração e transpiração das plantas e contribuem para que a videira sofra stress hídrico durante o período de crescimento, devido à limitação da disponibilidade de água no solo (Choné *et al.*, 2001). O déficit hídrico, aliado a temperaturas elevadas e irradiâncias atingidas durante o período estival, assim como um déficit de pressão de vapor elevado contribuem para a redução das trocas gasosas nas folhas, e afetam negativamente a qualidade e a quantidade da produção (Chaves *et al.*, 2003).

Por esse motivo torna-se necessário a implementação de sistemas de rega na vinha, mas, para isso é preciso perceber a resposta das videiras às deficiências hídricas, e adequar a utilização da água conforme as condições culturais e ambientais, de forma a fazer um uso correto da mesma (Choné *et al.*, 2001).

Devido a estas alterações, a agricultura deve adotar estratégias que permitam um maior controlo da planta e do ambiente circundante, de forma a monitorizar com maior rigor a resposta da planta perante as alterações climáticas.

A agricultura de precisão (AP) permite reduzir os fatores que afetam a produção, sendo alcançado pela correção dos fatores que contribuem para a sua variação, obtendo-se assim um aumento global da produtividade e da qualidade (Inês, 2011).

Existe um grande número de plataformas que auxiliam na AP, algumas dessas plataformas são de recolha de dados contínua e pontual, podendo ser utilizados na agricultura permitindo assim uma melhor monitorização e ajuste dos recursos às necessidades da planta e do clima envolvente.

Existem diferentes formas e métodos de monitorização, sendo que neste trabalho serão abordados, de seguida, os seguintes: monitorização da água no solo; monitorização do estado hídrico da planta; monitorização do clima e deteção remota.

2.4.1. Monitorização da água no solo

A disponibilidade de água para a videira interfere no seu crescimento vegetativo e reprodutivo, influenciando a produtividade da vinha e a qualidade do vinho. Quer a sua falta, ou o seu excesso, contribui para um crescimento desequilibrado e para alterações na produção. Mas a escassez de água, como consequência das alterações climáticas, tem preocupado o setor vitivinícola. Por isso a adoção de práticas mais sustentáveis no uso eficiente dos recursos naturais, tem sido um dos principais objetivos neste setor (Saraiva *et al.*, 2020).

A monitorização do teor de humidade no solo é muito importante para um uso eficiente da água de rega, permitindo assim uma melhor gestão da mesma. Este tipo de monitorização pode ser realizado através de diferentes métodos, tais como:

- **Método gravimétrico:** é o método mais vulgar para determinar o teor de água no solo. Consiste em determinar diretamente o teor de humidade no solo, através da recolha de amostras em locais e profundidades diferentes na parcela. Depois de recolhidas são colocadas num recipiente hermético, e no laboratório são pesadas e secadas em estufa a 105°, durante 48 horas. A diferença de peso final da amostra, em relação ao peso inicial, corresponde à percentagem de humidade (Oliveira, 2011).
- **Tensiómetro:** este aparelho consiste na medição da energia necessária para reter a água no solo. Esta medição só pode ser relacionada com o teor de humidade e a tensão de água no solo, caso se conheça a curva de tensão da água no solo (Duarte, 2018). Este método é constituído por um aparelho com um sistema rígido cheio de água, tendo numa das extremidades uma cápsula de porcelana porosa, que é enterrada até à profundidade pretendida, e na outra extremidade contém um manómetro. A variação da tensão matricial da água no solo verifica-se com a entrada e saída de água do tensiómetro. Quando o vácuo gerado no tensiómetro igualar a tensão com que a água está retida pelo solo, deixa de haver entradas e saídas de água. Por isso a leitura feita pelo manómetro é uma medida da força necessária para extrair água do solo (Oliveira, 2011).

- Sondas TDR (Time Domain Reflectometry): este método baseia-se na medição da velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e posterior medição da dimensão da reflexão das ondas, conjuntamente com as medições de tempo entre o seu envio e a deteção da sua reflexão (Oliveira, 2011). Entre os diferentes tipos desta sonda, existem dois principais: um que utiliza um tubo de acesso pelo qual a sonda desliza, e em simultâneo mede o teor de humidade do solo para cada profundidade, e o outro que é constituído por duas ou várias sondas, tipo guia, que se introduzem no solo a determinada profundidade medindo o teor de humidade. As sondas deste tipo normalmente devem estar permanentemente instaladas num determinado sítio (Duarte, 2018).
- Sondas FDR (Frequency Domain Reflectometry): estas designam-se por sondas capacitivas, em que utilizam a capacitância elétrica para avaliar o teor de humidade do solo, sendo a sonda Diviner 2000 um exemplo (Figura 2.6). Esta sonda é portátil, constituída por anéis metálicos que funcionam como parte de um condensador elétrico e por um sensor na extremidade da haste, que faz registos de 10 em 10 cm até à profundidade de 80 cm, através de um tubo de acesso, normalmente em PVC (Oliveira, 2011).



Figura 2.6 -Sonda de medição da humidade do solo, Diviner 2000® (Fonte: Sentek).

2.4.2. Monitorização do estado hídrico da planta

Contrariamente à maioria das culturas, as videiras, em geral, são plantas muito resistentes à escassez de água, sendo capazes de sobreviver em condições de stress hídrico severo (Serra *et al.*, 2014), contudo essas condições podem ser prejudiciais para a qualidade dos frutos, por inibição acentuada da área vegetativa, levando a uma redução da capacidade fotossintética, e em contrapartida uma redução da capacidade de amadurecimento

adequado das uvas (Romero *et al.*, 2010). Por isso, apesar da vinha ser uma cultura tradicionalmente não regada (Cifre *et al.*, 2005; Medrano *et al.*, 2015), a rega foi introduzida com a finalidade de reduzir o impacto da seca no rendimento e na qualidade dos frutos (Cifre *et al.*, 2005; Chaves *et al.*, 2010).

A água é um elemento responsável no transporte de fotoassimilados e nutrientes, e fundamental na hidrólise do amido e dissolução de substâncias gasosas e minerais (Magalhães, 2015). Também tem um papel essencial na turgescência das células, influenciando por isso o crescimento vegetativo e a abertura dos estomas (Hidalgo, 1999).

A monitorização da água na planta é essencial, visto que a escassez desta, associada às alterações climáticas, torna-se uma ameaça à sustentabilidade da viticultura nas atuais áreas de produção, que geralmente são propensas à seca (Simonneau *et al.*, 2017).

Nas plantas o défice hídrico é altamente condicionante das principais funções metabólicas, como as trocas gasosas e a fotossíntese. Como tal, a gestão hídrica e a capacidade de utilização da rega são essenciais para controlar o crescimento das plantas de forma mais eficiente, e em contrapartida produzir com qualidade (Wample, 2001).

A monitorização da água na planta pode ser realizada através de câmaras de pressão que permitem avaliar o potencial hídrico do ramo (Ψ_{st}) (Duarte, 2018). Na planta a água é transportada desde as raízes até às folhas movimentando-se através do xilema. Nestes vasos a água está em tensão, e à medida que esta vai diminuindo no solo, as raízes deixam de ter capacidade para acompanhar o ritmo de evaporação, contribuindo para aumentar a tensão, e a planta entra em défice hídrico (Cabral, 2017).

A determinação do potencial hídrico do ramo é realizada em folhas sãs e adultas, em que uma hora antes da medição são introduzidas num saco de alumínio, com a finalidade de parar a transpiração. Nestas condições, o potencial hídrico da folha fica em equilíbrio com o potencial hídrico do pânpano no qual esta se encontra inserida. Posto isto, o potencial hídrico do ramo resulta da taxa de transpiração da planta e da resistência aos fluxos de água entre o solo e as folhas, representando a capacidade total da videira para mover a água do solo para a atmosfera (Choné *et al.*, 2001).

Na câmara de pressão a folha é colocada numa câmara, onde é exercida uma pressão sobre esta através da libertação de azoto comprimido até que o fluido xilémico surja no pecíolo. A quantidade de pressão necessária indica a tensão a que a folha se encontra, sendo que,

quanto maior for a quantidade de tensão, maior é o grau de stress hídrico da planta (Figura 2.7) (Cabral, 2017).

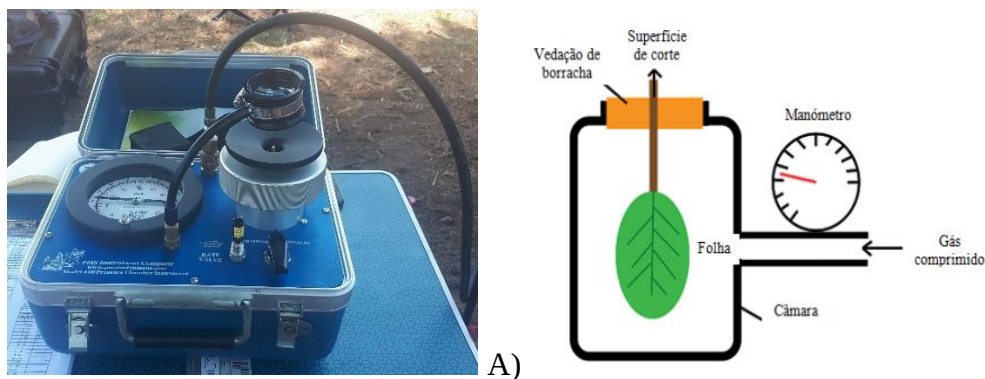


Figura 2.7- Monitorização do estado hídrico da planta: A) câmara de pressão Scholander; B) representação esquemática da medição do Ψ_{st} (adaptado de Oliveira, s/d).

As medições do potencial hídrico podem ser efetuadas a qualquer hora do dia, no entanto, as alturas do dia em que as medições são mais relevantes, é antes do nascer do sol (predawn) e ao meio-dia solar (midday) (Santesteban *et al.*, 2019). O meio-dia solar corresponde à altura em que a planta atinge a maior capacidade fotossintética, caso não existam fatores limitantes, sendo considerado o potencial hídrico mínimo (estado de hidratação mais reduzido), uma vez que coincide com o momento do dia de máxima transpiração da planta e evaporação do solo (Van Leeuwen *et al.*, 2009). Segundo Choné *et al.* (2001) o potencial hídrico do meio-dia solar é o primeiro parâmetro que indica a presença de stress hídrico, estando correlacionado com a transpiração da planta. Na ausência de transpiração e/ou uma reduzida ou nula evaporação, o potencial hídrico é determinado pelo potencial de água no solo, correspondendo ao seu limite máximo. Perante um processo de ocorrência de transpiração, verifica-se uma diminuição do potencial hídrico podendo registar valores bastante negativos em condições de ausência de regulação estomática (Tardieu e Simonneau, 1998). Posto isto, o potencial hídrico ao longo do dia resulta da disponibilidade de água no solo, mas também de outros fatores como as condições meteorológicas, que determinam a evaporação, da condutividade hidráulica interna da planta e da regulação estomática (Choné *et al.*, 2001). As unidades de pressão utilizadas na determinação do potencial hídrico são o Bar ou o Mega Pascal (1 Mpa corresponde a 10 Bares) (Quadro 2.2) (Cabral, 2017).

Quadro 2.2 -Níveis hídricos, medidos pelo potencial hídrico do pecíolo ao meio-dia solar.

Potencial hídrico do pecíolo ao meio-dia solar	
	Mpa
Conforto hídrico	>-0,6
Défice hídrico ligeiro	-0,6 a -0,9
Défice hídrico ligeiro a moderado	-0,9 a -1,1
Défice hídrico moderado a severo	-1,1 a -1,4
Défice hídrico severo	<-1,4

Fonte: adaptado de Van Leeuwen *et al.*, 2004.

2.4.3. Monitorização do clima

Este método consiste na disponibilidade diária de dados meteorológicos que podem ser obtidos através de estações meteorológicas. Com estes dados é possível calcular a evapotranspiração diária. A evapotranspiração (ET) é uma variável de extrema importância no ciclo hidrológico para quantificar o balanço hídrico em todas as escalas, desde o campo até a bacia hidrográfica, com a finalidade de compreender melhor o comportamento hidrológico de paisagens naturais e artificiais e melhorar o planeamento e a gestão dos recursos hídricos (Jensen e Allen, 2016). À medida que a competição pela água aumenta e os recursos hídricos se vão esgotando de forma gradual, a necessidade de lidar com a escassez de água torna o conhecimento e a exatidão das estimativas de ET cada vez mais importante (Paredes *et al.*, 2020). Reduzir a utilização de água na agricultura em resposta à mudança global e aos desafios ambientais requer uma melhor utilização das informações de ET, ou seja, ET de referência em várias escalas. Para a maioria desses propósitos, a precisão na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o , mm d^{-1}), muitas vezes referida como evapotranspiração potencial, desempenha um papel fundamental (Allen *et al.*, 1998; Pereira *et al.*, 2009; Pereira, 2017).

Para Van Leeuwen *et al.* (2004) o clima é considerado o principal fator diferenciador da produção de cada região, tendo um peso equivalente à soma de outros fatores como, as práticas culturais, o tipo de solo e a casta.

Fatores como temperatura, radiação e humidade não se aplicam apenas ao seu envolvimento no processo evaporativo, mas também no estado hídrico das videiras (Lousada, 2015). A precipitação é o parâmetro climático provavelmente que mais se

demonstra na disponibilidade hídrica de uma vinha, visto que é uma fonte natural de água para as plantas. A sua intensidade e distribuição ao longo do ciclo cultural tem um grande impacto no estado fitossanitário e na produção da planta (Ramos e Martínez-Casasnovas, 2006).

A temperatura é outro parâmetro que tem influência no estado hídrico da videira. Esta influência as perdas de água por transpiração, em que, quanto maior for a temperatura do ar maior serão as perdas de água da planta por transpiração. Por isso a transpiração tem efeito na regulação da temperatura foliar, sendo então um indicador do estado hídrico da videira (Grant *et al.*, 2007).

Outro parâmetro climático importante para o estado hídrico do solo-planta-atmosfera é o vento, uma vez que influencia as transferências de calor. Vento que transporta massas de ar quentes e secas contribui para diminuir a humidade do ar e aumentar a diferença entre os potenciais hídricos das folhas e da atmosfera e em contrapartida aumentar a transpiração. O contrário, ou seja, ventos frios e húmidos, reduzem a transpiração e a atividade estomática (Chavarria *et al.*, 2008).

O estado hídrico da planta não só depende da quantidade de água absorvida pelo sistema radicular, mas também das transferências de calor latente para a atmosfera, através de processos de transferência de massa (água), que apesar de serem diferentes, podem ocorrer em simultâneo. Um dos processos é a transpiração (T), que representa a perda de água dos tecidos vegetais, e o outro processo é a evaporação (E), que representa a perda de água do solo. A soma destes dois processos designa-se por evapotranspiração (ET) (Rodrigues, 2011).

Os principais fatores que afetam a evapotranspiração são: radiação, temperatura, humidade, velocidade do vento, precipitação, características da cultura (Allen *et al.*, 1998), profundidade e textura do solo, assim como a disponibilidade de água e nutrientes no solo (Oliveira, 2011).

A evapotranspiração tem três conceitos distintos: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração da cultura (ET_c) e evapotranspiração da cultura sob condições não padronizadas (ET_{caj}).

ET_o , expressa o poder de evaporação da atmosfera num determinado período, não considerando as características da cultura e do solo. ET_c , refere-se à evapotranspiração em condições ótimas existentes em parcelas, que atingem a máxima produção de acordo

com as condições climáticas. ET_{caj} , é a evapotranspiração em condições não padronizadas, ou seja, em condições ambientais que diferem das condições padrão, como por exemplo presença de pragas e doenças, escassa fertilidade do solo, salinidade do solo e excesso ou falta de água (Figura 2.8) (Allen *et al.*, 1998).

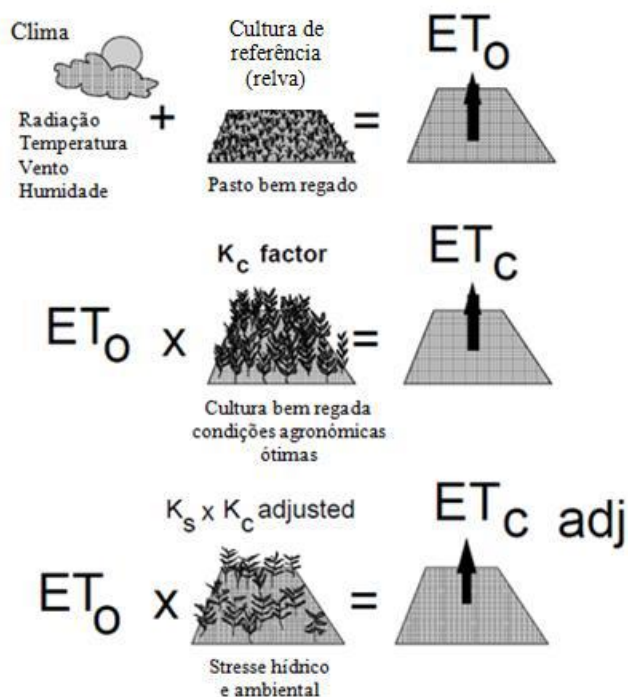


Figura 2.8 - Evapotranspiração de referência (ET_0); evapotranspiração da cultura (ET_c) que utiliza o coeficiente cultural (K_c); evapotranspiração em condições não padronizadas (ET_{caj}), que utiliza o coeficiente de stress hídrico (K_s) e cultural ajustado (K_{caj}) (adaptado de Allen *et al.*, 1998).

O coeficiente cultural (K_c) é um valor específico para cada cultura (Kamble *et al.*, 2013) e reflete o desenvolvimento da cultura e as práticas de gestão da água ao longo do ciclo vegetativo. Consequentemente, valores específicos de K_c são essenciais para se adequar a diferentes regiões climáticas, assim como a diferentes tipos de solo, tendo em consideração as situações de alterações climáticas futuras que preveem mudanças no período da estação de crescimento e nos estados fenológicos (Moriondo *et al.*, 2013 e Moriondo *et al.*, 2015).

Para a determinação da ET_c o valor recomendado do coeficiente cultural (K_c), para a cultura da videira, segundo Allen *et al.* (1998), é de 0,70.

- **Método de Penman-Monteith**

Existem várias abordagens para estimar a ET nas várias escalas, dependendo dos dados disponíveis e dos objetivos de cada estudo (Farahani *et al.*, 2007; Allen *et al.*, 2011; Jensen e Allen, 2016).

Para a determinação da ET_o, o método Penman-Monteith é o mais utilizado. Este método subentende que a evapotranspiração faz parte de um balanço energético entre a evaporação da videira e a atmosfera, em que a ET_o é calculada com base em valores diários de temperatura, vento, humidade relativa e radiação solar (Allen *et al.*, 1998).

A fórmula de Penman-Monteith apresentada por Allen *et al.* (1998) é expressa pela seguinte equação:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

Onde:

ET_o – Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

R_n - Radiação líquida à superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹)

G – Densidade do fluxo de calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹)

T - Média da temperatura do ar a 2 m de altura (°C)

U₂ - Velocidade do vento a 2 m altura (m s⁻¹)

e_s – Pressão de vapor de saturação (kPa)

e_a – Pressão real de vapor (kPa)

(e_s - e_a) - Défice da pressão de vapor (kPa)

Δ - Declive da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹)

γ - Constante psicrométrica (kPa °C⁻¹)

2.4.4. Deteção remota

A definição de deteção remota, num âmbito mais abrangente, é uma técnica que consiste na recolha de informação espacial à distância sobre a superfície da terra com recurso a

aparelhos manuais, satélites ou aviões (Coops e Tooke, 2017). Num âmbito mais específico como o planeamento agrícola, esta define-se como o processo de recolha de informação espacial, sobre ou próximos, da superfície da terra, por um sensor de radiação eletromagnética colocado acima da mesma superfície terrestre, permitindo, por exemplo obter o cálculo do índice de área foliar e índice de vegetação (Coelho *et al.*, 2009).

A adoção de uma estratégia de irrigação adequada e eficiente para diferentes vinhas é baseada na compreensão e controle do stress hídrico da videira ao longo do seu ciclo vegetativo (Girona *et al.*, 2009; Basile *et al.*, 2011). O stress hídrico moderado da videira, resultante da prática de rega deficitária, pode melhorar a qualidade das uvas utilizadas na produção de vinho (Williams *et al.*, 1994). O indicador padrão para o stress hídrico da videira é o potencial hídrico foliar (Ψ_f), determinado através de uma câmara de pressão. No entanto, esta prática carece de medições foliares individualizadas, o que limita a sua utilização quando aplicada em grandes áreas heterogêneas (Bellvert *et al.*, 2016).

Uma ferramenta adicional para monitorar o stress hídrico e a sua utilização em vinhas é a medição da evapotranspiração (ET), que quantifica a perda de água da videira e da superfície para a atmosfera. Numerosos estudos exploraram diferentes métodos e técnicas para medir a ET ou a utilização de água na vinha, incluindo lisímetros (Azevedo *et al.*, 2008; Netzer *et al.*, 2009), co-variância parasita (Spano *et al.*, 2000; Rodriguez *et al.*, 2010), pulso de calor ou equilíbrio de calor (Trambouze *et al.*, 1998; Zhang *et al.*, 2010), balanço de energia de renovação de superfície (Moratíel e Martínez-Cob, 2012), balanço de energia pelo método da razão de Bowen (Teixeira *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2011), balanço hídrico do solo (Fooladmand e Sepaskhah, 2009; Cancela *et al.*, 2012), e o método mais comum e simples, o modelo da FAO-56 (Allen *et al.*, 1998). A evapotranspiração potencial cultural (ET_c) é estimada como o produto da evapotranspiração de referência (ET_o) e o coeficiente cultural (K_c). O valor de ET_o é determinado através de dados meteorológicos e representa os efeitos das condições climáticas no processo de evapotranspiração (Suvocarev *et al.*, 2013).

O consumo de água da cobertura vegetal ativa do solo é ambientalmente admissível tendo em conta os diversos serviços de ecossistema prestados pelas coberturas nas vinhas (Garcia *et al.*, 2018), como por exemplo a contribuição para o sequestro de carbono (C), o aumento do teor de azoto (N) no solo (Gattullo, 2020), a prevenção da erosão (Lopes *et al.*, 2011), o contributo para o vigor da planta, o controle da qualidade dos frutos (Pou *et al.*, 2011), e o controle de pragas (Sivcev *et al.*, 2010) e na população microbiana do solo

(Blanco-Perez *et al.*, 2020). Porém, o uso de água também deve ser considerado na evapotranspiração das culturas (Paço *et al.*, 2019). Assim sendo, seguindo a abordagem dual Kc, a cobertura ativa do solo caracteriza uma parte da evapotranspiração. Posto isto, a evapotranspiração total resulta da soma da transpiração da cobertura vegetal ativa do solo, da vinha, e da evaporação do solo (Fandiño *et al.*, 2012).

A abordagem do Kc dual para a estimativa da evapotranspiração cultural pode ser simplificada utilizando índices ou modelos, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) baseado em imagens de satélite (French *et al.*, 2020), ou em modelos como o AquaCrop (Raes, 2017) ou o SIMDualKc (Rolim *et al.*, 2007; Rosa *et al.*, 2012). O SIMDualKc estima o balanço hídrico do solo, utilizando um intervalo de tempo diário, baseado na seguinte equação:

$$D_i = D_{i-1} - (P - RO)_i - I_i - CR_i + ET_{c,i} + DP_i$$

Onde:

D_{i-1} - Esgotamento no dia anterior (mm)

P – Precipitação (mm)

I – Rega (mm)

CR - Ascensão capilar de um lençol freático raso (mm)

DP -Percolação profunda para fora da zona da raiz (mm)

$ET_{c,i}$ - Evapotranspiração da cultura (mm)

RO - Escoamento (mm)

Este modelo foi calibrado e validado a partir de dados de várias culturas permanentes com cobertura ativa do solo, incluindo também a *Vitis vinífera* cv. Loureiro (Silva *et al.*, 2021).

A detecção remota pode disponibilizar medições básicas de uma grande variedade de características biológicas ou físicas de uma paisagem, como a sua posição, cor, forma, temperatura e o teor de humidade (Wilkie e Finn, 1996). Vários estudos têm sido realizados com a utilização da detecção remota para estimar as necessidades de rega e observar as alterações na vegetação (Erena *et al.*, 2012; Boratto e Gomide, 2013; Gandhi *et al.*, 2015). Esta permite detetar, monitorizar e quantificar um amplo número de doenças em diferentes culturas e detetar precocemente o stress hídrico das culturas (Calderón *et*

al., 2012). Estes estudos indicam que as técnicas utilizadas pela detecção remota são eficientes e precisas quando comparadas com os métodos tradicionais.

Os sensores multiespectrais têm sido considerados uma ferramenta de interesse em estudos relacionados com o estado das plantas por serem capazes de prever determinados índices espectrais. Estes índices são conseguidos através de sensores instalados em plataformas que podem ser espaciais (satélites), aéreas (aeronaves) (Figura 2.9) ou terrestres (aparelhos portáteis) (Govender *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2016), e integram combinações matemáticas de refletâncias (duas ou mais) em comprimentos de onda específicos.

Segundo Braga (2009) e Silva *et al.* (2013) as imagens provenientes de satélites apresentam algumas desvantagens comparativamente com as obtidas através de aeronaves, relacionadas com o seu elevado custo por apresentar uma vasta área; suscetibilidade à presença de nuvens que interferem com a qualidade da imagem e também por não ser possível controlar a data exata de obtenção da imagem, uma vez que estão condicionadas à periodicidade de passagem do satélite sobre a área em análise.



Figura 2.9 - Veículo aéreo não tripulado (VANT), com câmara, utilizado para a obtenção de imagens aéreas.

- **Índice de vegetação: NDVI**

Desde a publicação do manual FAO 56 (Allen *et al.*, 1998), vários autores têm utilizado este método para determinação da evapotranspiração cultural (ET_c) com a abordagem do coeficiente cultural simples (K_c) ou dual, dividido na componente basal (K_{cb}) e na componente de evaporação (K_e) utilizando dados do índice de vegetação (IV), aplicando a equação de evapotranspiração de referência (ET_o) do método de Penman-Monteith. Para muitas culturas anuais, certos parâmetros biofísicos, como a fração de cobertura da

cultura (fc), a densidade da planta e o índice de área foliar (LAI) são monitorizados no campo por índices de vegetação determinados através de sensoriamento remoto (Duchemin *et al.*, 2006; Hunsaker *et al.*, 2007). Para a monitorização da vegetação, um IV bastante utilizado é a razão de diferença normalizada do infravermelho próximo (NIR) e bandas de refletância vermelha, ou índice de diferença normalizada de vegetação (NDVI) (Glenn *et al.*, 2011).

Jackson *et al.* (1980) e outros autores analisaram a semelhança entre a evolução temporal do NDVI e os coeficientes culturais.

Os primeiros estudos de Bausch e Neale (1987) e Neale *et al.* (1989) obtiveram uma relação linear entre o coeficiente cultural basal e o NDVI para a cultura do milho.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) é uma técnica amplamente utilizada para o estudo das características biofísicas da vegetação (Jiang *et al.*, 2006), sendo calculado através da seguinte equação (Bhagat *et al.*, 2019):

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

A utilização deste índice na avaliação da atividade fotossintética decorre através de dois factos: a clorofila tem tendência para absorver a radiação visível nos comprimentos de onda entre os 400 nm e os 700 nm (RED) quando ativa; e por outro lado a organização celular das folhas das plantas reflete a radiação nos comprimentos de onda entre os 700 nm e os 1100 nm (NIR) e por isso quantas mais folhas a planta tem, maior é a reflexão nestes comprimentos de onda. Os valores de refletância são, por natureza, representados pela percentagem da radiação refletida, traduzida em informação quantitativa entre 0 e 1 (Myneni *et al.*, 1995).

Assim sendo, o NDVI assume valores entre -1 e 1: os valores de NDVI mais próximos de 1 correspondem a zonas de maior densidade vegetal (elevado vigor e biomassa), sendo mais densa e a fotossíntese mais ativa; valores próximos de zero correspondem a áreas com muito pouca vegetação, estado inicial da cultura, solos nus ou áreas não produtivas; os valores abaixo de zero (negativos) corresponderão a nuvens, áreas de água ou a zonas de neve (Braga, 2009; Hall, 2018).

Este índice não só permite identificar diferentes classes de vegetação, como diferentes espécies de vegetação e condição fisiológica da mesma (Coops e Tooke, 2017), pois à

medida que a capacidade fotossintética diminuí, por influência do stress hídrico, de problemas fitossanitários, entre outros, o valor de NDVI também se vai aproximar mais de 0, uma vez que as plantas passam a ter uma menor capacidade de absorver o comprimento de onda vermelho e mais o comprimento de onda infravermelho (Braga, 2009).

Diferentes fatores podem ter interferência no NDVI, como o índice de área foliar, défices nutricionais na planta, stress hídrico ou estado fitossanitário, visto que os comprimentos de onda (vermelho e infravermelho próximo) são sensíveis aos níveis de clorofila (Matese e Gennaro, 2015).

2.5.Objetivos do trabalho

Os objetivos deste trabalho foram: avaliação do estado hídrico da casta Loureiro em diferentes estratégias de rega; a determinação dos coeficientes culturais da *Vitis Vinífera* cv. Loureiro através de técnicas de deteção remota, comparando a abordagem do balanço hídrico do solo e os índices de vegetação.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização do ensaio experimental

Os ensaios experimentais decorreram numa parcela localizada na freguesia de Calvelo, no concelho de Ponte de Lima que pertence à Região Demarcada dos Vinhos Verdes, sub-região do Lima (Figura 3.1).

Esta região foi originalmente demarcada a 18 de setembro de 1908, estende-se por todo o noroeste de Portugal, sendo tradicionalmente conhecida como Entre-Douro-e-Minho. Tem como limites a norte o rio Minho, que estabelece parte da fronteira com a Espanha; a sul o rio Douro e as serras da Freita, Arada e Montemuro; a este as serras da Peneda, Gerês, Cabreira e Marão e a oeste o Oceano Atlântico (CVRVV, 2019).



Figura 3.1 - Demarcação das sub-regiões da Região dos Vinhos Verdes (Infovini, 2009).

Nesta sub-região é onde a precipitação atinge valores mais altos (CVRVV, 2018), acima dos 1200 mm e verões relativamente amenos (Fraga *et al.*, 2014). A altitude a que a vinha se encontra plantada é variável, aumentando do litoral para o interior, onde o relevo também é mais irregular, contribuindo para alguns microclimas no interior do vale do Lima, existindo por vezes referências como baixo Lima e alto Lima (CVRVV, 2018). Os ventos marítimos têm influência em toda a região, através de frequentes nevoeiros e da elevada humidade relativa do ar (Climaco *et al.*, 2012).

3.2. Caracterização da parcela

A parcela experimental localizada na freguesia de Calvelo, no concelho de Ponte de Lima a 175 m de altitude, com as coordenadas geográficas, latitude 41°40'32.16"N e longitude 8°32'6.21"W. A propriedade tem uma área de aproximadamente 56 ha dividida em diferentes parcelas, em que a parcela onde foi realizado o estudo tem cerca de 5,5 hectares de *Vitis vinífera*, da casta Loureiro (Figura 3.2). A vinha foi plantada em 2001 com porta enxertos 1103P, orientada a norte-sul. O compasso de plantação é de 2m x 3m (1666 plantas/ha) em cordão simples ascendente. O solo apresenta uma textura franco-arenosa (50% areia, 31% limo e 19% argila) e pH ácido (5,0).



Figura 3.2 - Localização da parcela em estudo (Google maps, ano da imagem 2023).

A parcela em estudo localiza-se em duas áreas homogêneas distintas, UH1 e UH2 (Figura 3.3). A área UH1 caracteriza-se por uma litologia à base de xisto com uma unidade pedológica baseada em Leptossolos dísticos em xistos e rochas afins (LPd.x). A espessura do solo é maioritariamente entre os 30 e os 100 cm e apresenta uma baixa a moderada fertilidade. A sua capacidade de disponibilizar água é de 50 mm, classificando-se como qualitativamente baixa. Esta zona representa 34,75% da área de estudo (Portela, 2021).

Relativamente à área UH2 apresenta uma litologia à base de xisto, com unidades pedológicas de Antrossolos Cumúlicos Dístricos em xistos e rochas afins (ATcd.x). A sua espessura localiza-se maioritariamente entre os 50 a 100 cm e a sua fertilidade é elevada. A sua capacidade de disponibilizar água é de 105 mm, o que a torna qualitativamente média a alta. Esta zona representa 65,25% da área de estudo. Quanto ao relevo é classificado como suavemente ondulado nas duas áreas homogêneas (Portela, 2021).

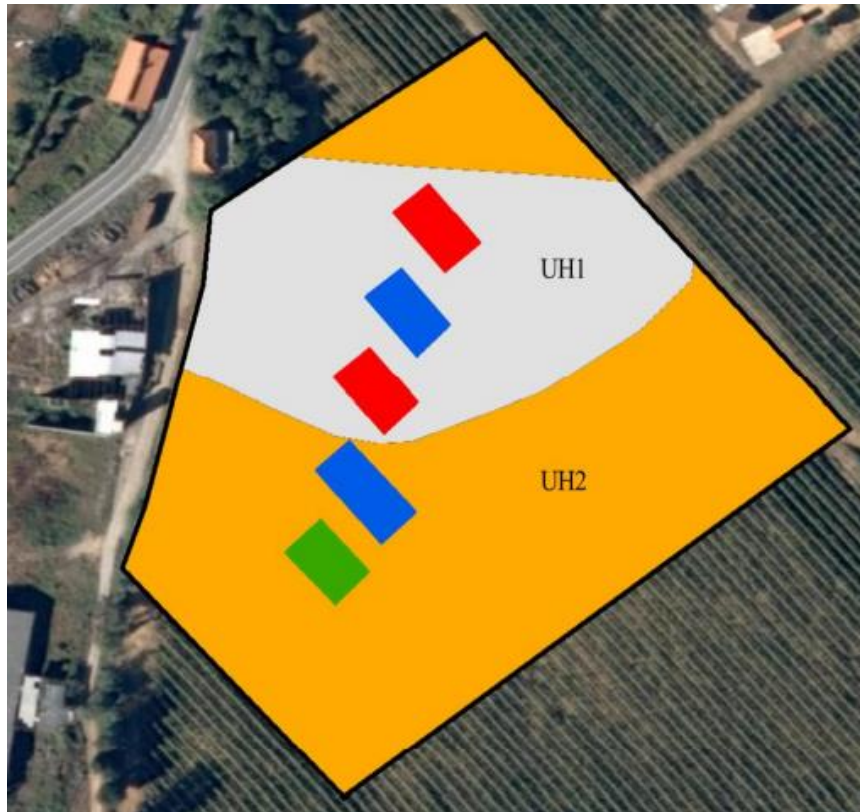


Figura 3.3 -Áreas homogêneas (UH1 e UH2) tendo por base a cartas de solos, e as estratégias de rega representadas, no retângulo vermelho a sem rega (SR_1 e SR_2); no retângulo azul a rega deficitária (RD_1 e RD_2); e no retângulo verde a rega completa (RC) (Portela, 2021).

Na Figura 3.4 está representado o ensaio, a azul a área demarcada do ensaio, a vermelho as videiras marcadas para o estudo e a verde os tubos para avaliação do potencial hídrico nas diferentes estratégias de rega (SR, RD, RC).



Figura 3.4 - Localização da parcela de ensaio: a azul encontra-se a área demarcada do ensaio, a vermelho as videiras marcadas para o estudo e a verde os tubos para avaliação do potencial hídrico em cada uma das estratégias de rega (SR, RD, RC).

3.3.Caracterização climática

O clima do concelho de Ponte de Lima é influenciado pela sua proximidade ao oceano Atlântico, pela latitude a que se encontra, assim como pelas características do seu relevo, de cotas entre 10 m e 840 m de altitude. O relevo é, em grande parte, o responsável pela diversidade de microclimas que muito contribuem para a beleza e diversificação desta região (Alonso, 2008).

Esta sub-região, onde se localiza a vinha, caracteriza-se por uma amplitude térmica intermédia comparativamente com as outras sub-regiões; precipitação elevada; altitude variável, aumentando do litoral para o interior, onde o relevo é mais irregular, o que contribui para alguns microclimas no interior do vale do Lima, designando-se, por vezes, o baixo e o alto Lima (CVRVV, 2020).

As temperaturas médias mensais mais elevadas, no concelho de Ponte de Lima, registam-se nos meses de julho e agosto, em média 21,3°C, sendo as temperaturas máximas registadas, em média de 28°C (Alonso, 2008).

Relativamente à precipitação, a média anual é de 1683 mm, sendo que em média 40,1% da precipitação ocorre durante o inverno, enquanto os valores registados durante o verão são de apenas 7,4% do total de precipitação anual (Alonso, 2008).

Os dados meteorológicos registados através da estação meteorológica instalada na Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, do Instituto Politécnico de Viana do Castelo (ESA-IPVC) foram a temperatura máxima e mínima (°C), a humidade relativa máxima e mínima (%), a velocidade e direção do vento (km/h), a radiação solar (W/m²) e a precipitação (mm), durante a campanha de 2020 e 2021 (Figura 3.5), visto que a que se encontrava na parcela em estudo teve uma avaria.



Figura 3.5 - Estação meteorológica instalada na ESA-IPVC para registo diário de dados climáticos.

3.4.Delineamento experimental

O ensaio desenvolveu-se entre as linhas 10 e 44 da parcela em estudo. Foram implementadas três estratégias de rega: rega completa (RC, 100% ETc); rega deficitária (RD, 50% ETc) e sem rega (SR). Cada estratégia de rega é constituída por seis linhas sendo duas de bordadura. As leituras da humidade do solo foram realizadas nas duas linhas centrais, com exceção da estratégia RC que se realizou só numa linha. As estratégias apresentam duas repetições, designadas respetivamente por SR-1 e SR-2 para a estratégia sem rega, RD-1 e RD-2 para a estratégia rega deficitária e a RC, para a estratégia rega completa. O teor de humidade foi determinada através de tubos de acesso em PVC que foram implementados no solo, sendo estes numerados de 1 a 18, colocados dois por linha, entre a 2^a e 3^a videira e entre a 5^a e 6^a videira (Figura 3.6).

De referir que no tubo 5 não foram realizadas medições devido a este se encontrar danificado, e por isso poderia colocar em causa a viabilidade dos resultados.

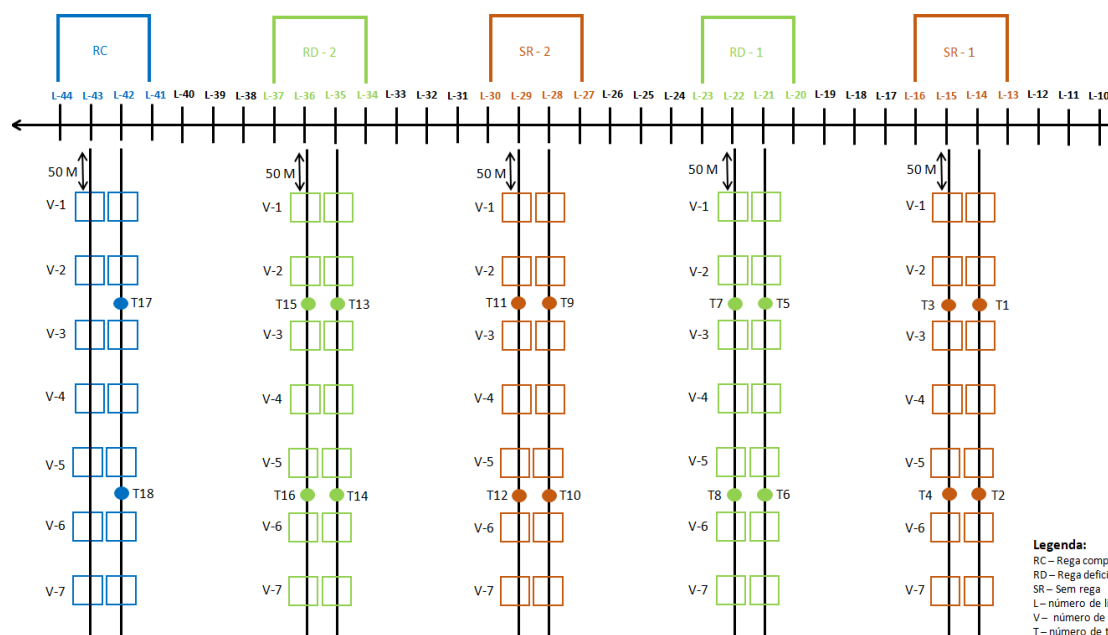


Figura 3.6 -Plano da implementação das diferentes estratégias de rega, rega completa (RC), rega deficitária (RD) e sem rega (SR); as respetivas linhas e a numeração dos tubos de acesso para a determinação da humidade do solo.

Na parcela foi implementado o método de rega gota-a-gota, com um tubo de 16 mm de diâmetro, no qual foram inseridos gotejadores autocompensantes com débito de 4 L h^{-1} , com espaçamento de 1 metro, funcionando a uma pressão nominal de 250 kPa, situados no primeiro arame da condução da vinha (Figura 3.7).



Figura 3.7 -Sistema de rega gota a gota implementado na parcela de ensaio, com débito de 4 L h^{-1} e espaçamento de 1 metro.

3.5. Metodologias

3.5.1. Registo dos estados fenológicos

Para a análise da fenologia, neste estudo utilizou-se a escala Eichorn & Lorenz. Através desta é possível a identificação das diferentes fases do desenvolvimento da videira, correspondendo a uma numeração de 1 a 47.

O procedimento tomado consistiu na observação de duas plantas por linha, localizadas a seguir ao tubo de acesso ao solo (T1 ao T18). Para o registo foi tido em conta o número de varas, em que se registava, de forma quinzenal, as características dos órgãos existentes em cada vara, atribuindo assim a identificação do estado fenológico correspondente. No final o estado fenológico considerado era determinado através da moda, ou seja, o estado mais frequente.

O registo dos estados fenológicos teve início no dia 7 de maio de 2020 (DOY 128), sendo posteriormente feita uma avaliação quinzenalmente até ao dia 9 de setembro de 2020 (DOY 253). Relativamente ao ano de 2021, esta análise teve início no dia 16 de junho (DOY 167) e término a 6 de setembro (DOY 249).

Foi feito um controlo de maturação pelo técnico da Cooperativa Agrícola, que juntamente com o proprietário da exploração definiram o dia 9 de setembro para a realização da vindima no ano de 2020 e no ano de 2021 esta ocorreu no dia 7 de setembro.

3.5.2. Monitorização da água no solo

A monitorização do teor de humidade no solo foi realizada com a sonda portátil Diviner 2000® ao longo do ciclo vegetativo (Figura 3.8). Esta sonda permite a realização de medições pontuais de 10 em 10 cm até à profundidade de 80 cm, através de um tubo de acesso em PVC estando estes protegidos por uma tampa para evitar a entrada de água e poeiras (Figura 3.8). As medições foram realizadas no período da manhã (horário compreendido entre as 9h30 e as 11h00), em 2020 e 2021, entre 16 de maio e 10 de setembro, e entre 16 de junho e 6 de setembro, respetivamente. Estas foram efetuadas de forma quinzenal, com três repetições cíclicas em cada tubo. Posteriormente determinou-se a média das repetições.



Figura 3.8 - Monitorização da água no solo: A) sonda portátil Diviner 2000; B) tubo de acesso em PVC.

Os tubos de acesso estão colocados nas linhas intermédias de cada estratégia, duas linhas na RD e SR e uma linha na RC, sendo o primeiro tubo colocado entre a 2^a e a 3^a videira e o segundo entre a 5^a e a 6^a videira. Estes foram numerados de 1 a 18, a contar da linha 10 para a linha 43 (Quadro 3.1).

Quadro 3.1 - Tubos implementados nas respetivas linhas, nas diferentes estratégias de rega para a monitorização do teor de água no solo, com a sonda Diviner 2000®.

Método de rega	SR1	RD1	SR2	RD2	SR
Linha	14; 15	21; 22	28; 29	35; 36	42
Tubo	T1; T2; T3; T4	T5; T6; T7; T8	T9; T10; T11; T12	T13; T14; T15; T16	T17; T18

3.5.3. Potencial hídrico do ramo

A determinação do potencial hídrico do ramo (Ψ_{st} ; MPa) foi realizada com a câmara de pressão Scholander, seguindo os parâmetros metodológicos definidos no manual do equipamento.

É uma metodologia que exige alguma rapidez na sua execução para que, quando as folhas são removidas sejam colocadas na câmara de pressão o mais rápido possível, sem que ocorra a adulteração dos resultados originários do intervalo de tempo entre a colheita e a medição. Este método caracteriza-se por ser de fácil execução, permitindo obter informações sobre o estado hídrico de uma folha ou de uma planta no campo, apesar de ser um método destrutivo, uma vez que implica a remoção de folhas da videira.

Na recolha dos dados, o primeiro passo consiste na escolha de uma folha adulta em bom estado sanitário que se encontre no terço médio superior (entre o 2º e 3º arame), na 2ª ou 3ª videira e na 5ª videira de cada linha intermédia. Nestas folhas é colocado um saco (Figura 3.9) uma hora antes do meio-dia solar, com a finalidade de eliminar a radiação incidente e o armazenamento da transpiração da folha. Ao meio-dia solar procede-se ao corte reto do pecíolo, com a ajuda de um x-ato, de forma que este tenha comprimento suficiente para que a folha ao ser colocada na câmara de pressão este fique no exterior. Seguidamente procede-se ao enchimento com gás comprimido de azoto que ao criar pressão, e quando este atinge o ponto de equilíbrio, provoca o aparecimento do fluxo xilémico na extremidade do pecíolo, observado através de uma lupa. Neste momento interrompe-se a injeção do azoto e regista-se o valor, sendo este apresentado em bares (Figura 3.9).

Este parâmetro foi medido no ano de 2020 e 2021, tendo decorrido entre o dia 9 de julho e 10 de setembro e entre o dia 16 de junho e 6 de setembro, respetivamente.



Figura 3.9 – Determinação do potencial hídrico: A) instalação dos sacos para a medição do potencial do ramo; B) medição dos potenciais através da câmara de pressão Scholander.

3.5.4. Detecção remota: aquisição de dados

A aquisição das imagens para o cálculo do NDVI e para efeitos de correlação dos dados foi efetuada através do Browser Copernicus Sentinel-2 e de VANT.

O Sentinel-2 caracteriza-se por ser um satélite constituído por uma constelação de dois satélites (Sentinel-2A e Sentinel-2B) em órbita polar, situados na mesma órbita sincronizada com o sol, tendo as fases a 180º entre si. A sua finalidade é supervisionar a

variação das condições da superfície terrestre, alcançando uma largura de 290 km e tem um elevado tempo de revisita demorando 10 dias no Equador com um satélite, e cinco dias com dois satélites, isto quando não existe nuvens. O Sentinel-2 disponibiliza imagens óticas de alta resolução para os serviços terrestres, tais como, imagens da vegetação, da cobertura do solo e da água, das zonas costeiras e das vias navegáveis interiores.

O processo para extrair as imagens de satélite consiste em selecionar a área que pretendemos as imagens, criando um retângulo (Figura 3.10).



Figura 3.10 – Delimitação da área no site Copernicus para extrair as imagens de satélite.

Posteriormente procedeu-se ao preenchimento de alguns parâmetros de filtragem das imagens, como: período de datas; missão de satélite (Sentinel-2); plataforma de satélite (S2A) e tipo de produto (S2MS11C) (Figura 3.11).

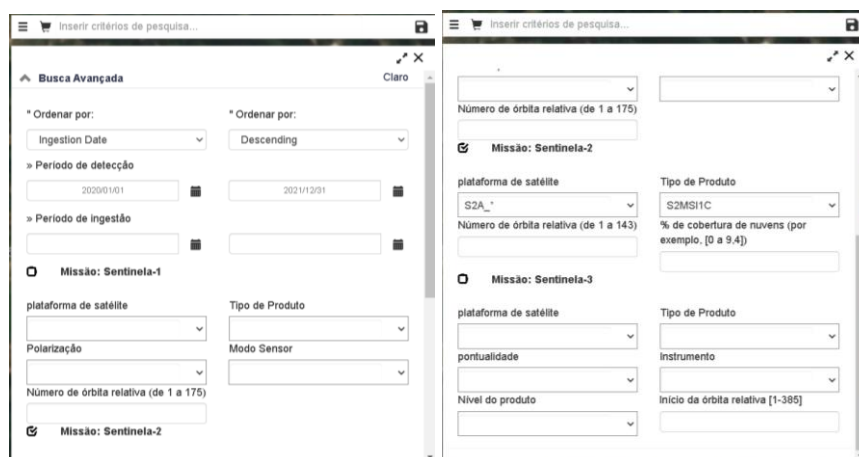


Figura 3.11 – Parâmetros de filtragem das imagens: período de datas; missão de satélite; plataforma de satélite e tipo de produto.

De seguida seleccionou-se as imagens, preferencialmente sem nuvens, e fez-se a transferência das mesmas, adicionando-as ao ArcGis. O período de datas que foi possível extrair as imagens com boa visibilidade, referentes ao ano de 2020 e 2021, foi entre 7 de maio e 30 de agosto e entre 4 de maio e 4 de setembro, respetivamente.

Relativamente às imagens obtidas através de VANT, os voos foram realizados nas seguintes datas: 18 de junho, 20 e 28 de agosto de 2020 e 1 e 9 de julho de 2021.

Após o voo, as imagens do VANT foram transferidas para o computador e inseridas no software Agisoft Metashape, onde foi calibrada a sua reflectância com a finalidade de se prosseguir ao seu tratamento através de um workflow (Figura 3.12), sendo este processo dividido por várias fases (Align Photos; Build Dense Cloud; Build Mesh; Build Texture; Build Tiled Model; Build DEM e Build Orthomosaic), construindo assim um ortofotomapa com a área em estudo. Posteriormente exportou-se o ortomosaico resultante em formato TIFF, e adicionou-se ao ArcGis cada banda separadamente.

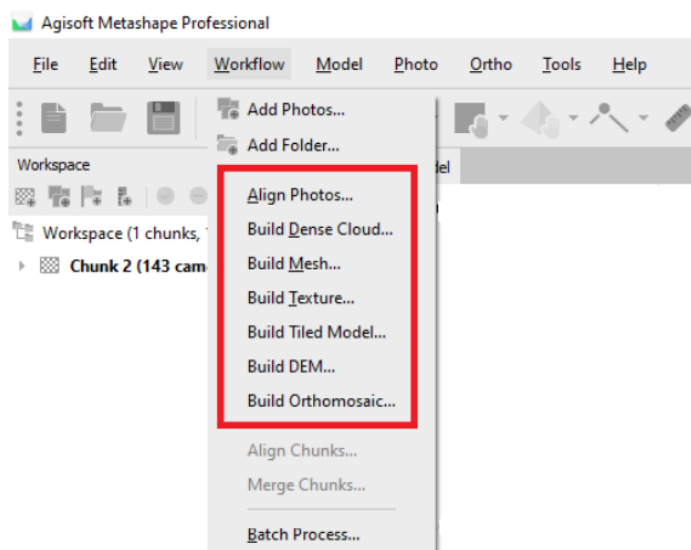


Figura 3.12 - Conjunto de processos, representados dentro do retângulo vermelho, para criação de um ortofotomapa.

A fase seguinte foi a criação de polígonos em cada estratégia de rega (Figura 3.13), sendo definidos com exatamente a mesma área para que não existissem variações nas diferentes estratégias, e foi-lhes atribuído um parâmetro de identificação na sua tabela de atributos (SR_1; RD_1; SR_2; RD_2 e RC). Este procedimento foi aplicado apenas às imagens de satélite, devido ao facto de estas terem um tamanho de pixel muito superior comparativamente com as imagens de VANT.



Figura 3.13 – Polígonos, com a mesma área, nas diferentes estratégias de rega.

Posteriormente foi aplicado o índice de vegetação NDVI, nas diferentes datas, obtendo uma imagem raster diferente para cada data. Para uma melhor análise do NDVI, extraiu-se uma estatística descritiva (mínimo, máximo, média, coeficiente de variação e desvio-padrão) de cada polígono. Esta tabela foi depois exportada para um documento em formato suportado pelo Excel.

De seguida procedeu-se à calibração e validação dos dados, utilizando a média dos valores de NDVI, das diferentes estratégias de rega, e os valores de Kcb.

Os valores de Kcb utilizados, para a área em estudo, foram calibrados e validados segundo o modelo SIMDualKc, determinados segundo Silva *et al.* (2021).

O modelo SIMDualKc, adota a metodologia dos coeficientes duais descrito por Allen *et al.* (1998), sendo um método desenvolvido para calcular a evapotranspiração cultural (ETc), em que a transpiração da cultura e a evaporação do solo são determinados separadamente; e a programação das necessidades de rega utilizando a abordagem dos coeficientes culturais duais (Allen *et al.*, 1998, 2005).

Este modelo é utilizado para simular o balanço hídrico no solo ao longo do ciclo vegetativo da cultura, considerando variações climáticas, práticas de rega, e características específicas da cultura e do solo. Ele permite otimizar a gestão da rega, ajudando a evitar tanto o défice hídrico como o excesso, o que pode melhorar a produtividade e a eficiência no uso da água (Rosa *et al.*, 2012).

3.5.5. Registo dos componentes do rendimento à vindima

Quando se procedeu à vindima foram registados em campo, para cada videira presente no ensaio, os dados relativos ao número de cachos obtidos e o seu peso total de produção por videira, 14 videiras de cada estratégia, através dos quais foi possível chegar ao peso médio por cacho de cada videira do ensaio. De referir que a vindima foi marcada de acordo com os resultados obtidos através do controlo maturação realizado pelo técnico da Adega Cooperativa de Ponte de Lima.

Posteriormente no laboratório da Escola Superior Agrária do IPVC procedeu-se à contagem e pesagem de 100 vagos por cada videira e pesagem dos cachos (Figura 3.14).

A produção média por videira foi calculada a partir do peso dos cachos colhidos em cada uma das videiras seleccionadas para estudo, nas diferentes estratégias de rega. No total foi contabilizada a produção de 70 plantas, sendo que foram contados e pesados todos os cachos.



Figura 3.14 – Balança para a pesagem dos bagos e dos cachos para posterior cálculo do rendimento por estratégia de rega.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1.Registos fenológicos

Os estados fenológicos foram registados ao longo do ciclo vegetativo juntamente com as medições dos parâmetros a seguir descritos na metodologia. No total foram acompanhadas 20 videiras (8 de cada modalidade, SR e RD, e 4 da modalidade RC). Considerou-se cada estado quando 50% da videira apresentou características de um determinado estado fenológico. Deu-se especial atenção à vinha durante os principais estados fenológicos, nomeadamente floração, bago de ervilha, pintor e a vindima (Quadro 4.1 e Figura 4.1). Estes registos foram realizados nos anos de 2020 e 2021 (Quadro 4.1).

Quadro 4.1– Registo fenológico, no ano de 2020 e 2021, segundo a escala Eichorn & Lorenz.

DOY	Data	Estado fenológico	Eichorn & Lorenz
2020			
128	07/05/2020	12 folhas separadas	17
137	16/05/2020	Queda de 10% das caliptras	20
143	22/05/2020	Plena floração	23
156	04/06/2020	Frutificação	27
170	18/06/2020	Bagos tamanho grão de pimenta	29
184	02/07/2020	Bago de ervilha	31
191	09/07/2020	Bago de ervilha	31
198	16/07/2020	Bago de ervilha	31
206	24/07/2020	Início do fecho dos cachos	32
219	06/08/2020	Bagos ainda verdes e duros	33
233	20/08/2020	Início do amadurecimento dos bagos	34
241	28/08/2020	Bagos começam a ganhar cor	35
253	09/09/2020	Bagos maduros (prontos a colher)	38
2021			
167	16/06/2021	Bagos tamanho grão de pimenta	29
182	01/07/2021	Bago de ervilha	31
190	09/07/2021	Início do fecho dos cachos	32
194	13/07/2021	Início do fecho dos cachos	32
210	29/07/2021	Bagos ainda verdes e duros	33
224	12/08/2021	Início do amadurecimento dos bagos	34
238	26/08/2021	Bagos começam a ganhar cor	35
249	06/09/2021	Bagos maduros (prontos a colher)	38

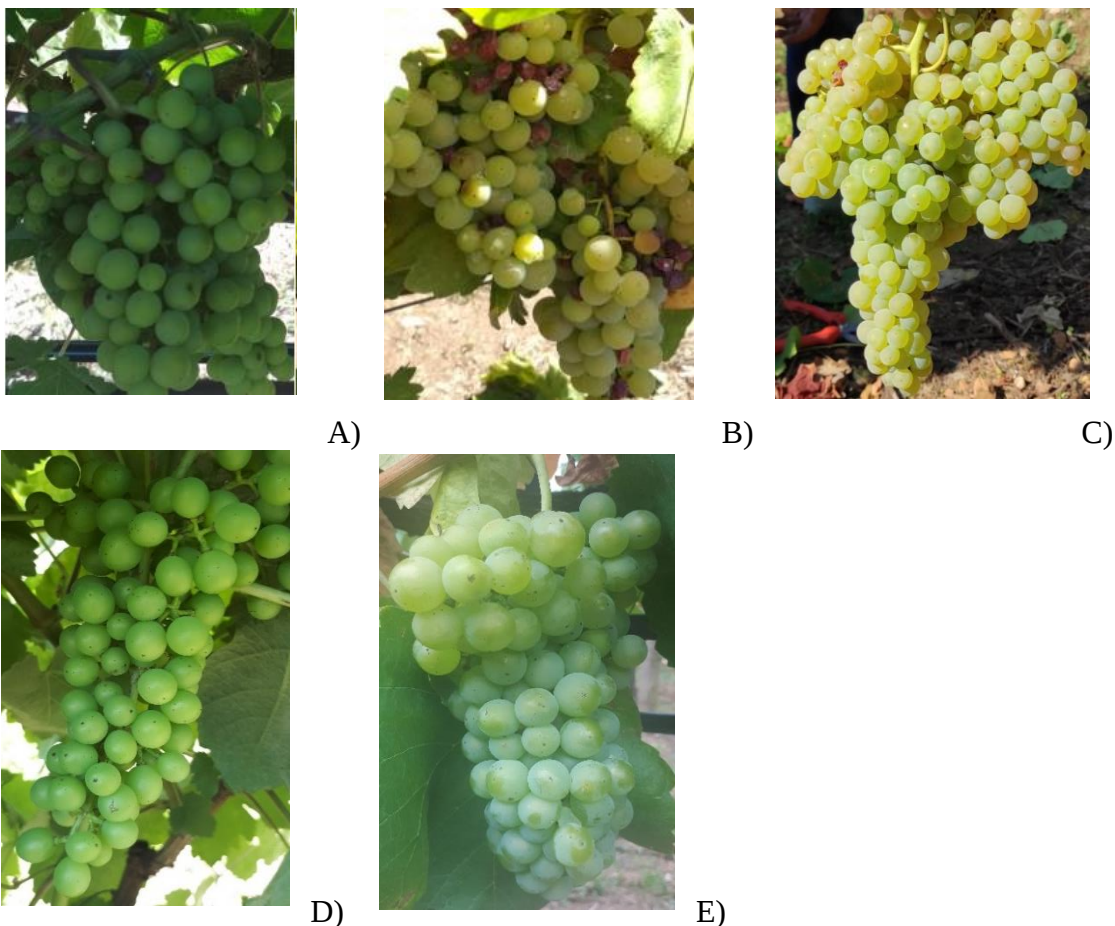


Figura 4.1 – Estados fenológicos observados, no ano de 2020: A) bago de ervilha (16 de julho); B) início do amadurecimento dos bagos (20 de agosto); C) bagos maduros (dia da vindima, 9 de setembro), no ano de 2021: D) bago de ervilha (1 de julho); E) início do amadurecimento dos bagos (12 de agosto).

4.2. Registo de variáveis climáticas

As variáveis climáticas diárias (temperatura, humidade, velocidade do vento, radiação e precipitação), foram registadas na estação meteorológicas da ESA-IPVC, durante os ciclos vegetativos dos anos de 2020 e 2021.

Na Figura 4.2 observa-se a média da temperatura mínima e máxima referente ao ano de 2020 e 2021. Verifica-se que entre março e setembro o mês mais frio em 2020 foi março com 7,3°C, e julho o mês mais quente com 31,8°C. Relativamente a 2021 março regista a temperatura mais baixa com 6,1°C e agosto o mês que regista a temperatura média mais elevada com 28,3°C.

Comparando os dois anos, março foi o mês mais frio em ambos. Contudo 2021 regista uma temperatura inferior, menos 1,2°C, comparativamente com 2020.

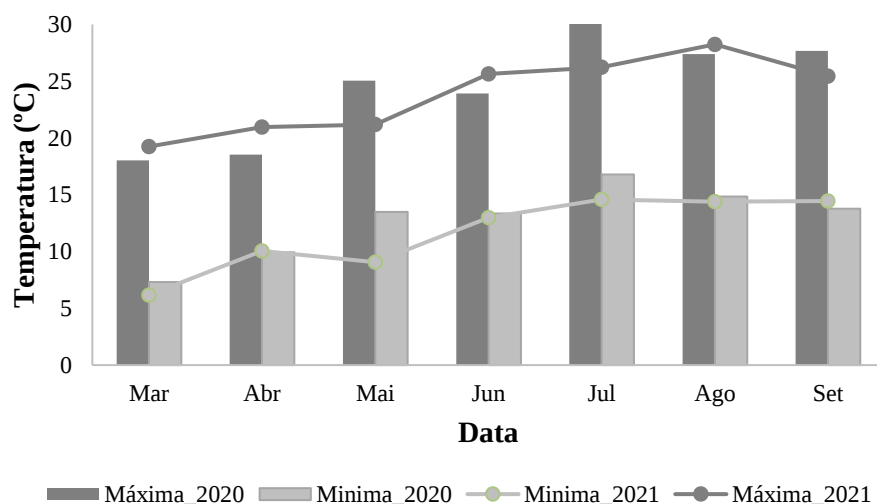


Figura 4.2 – Média da temperatura mínima e máxima mensal entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.

Analisando a variável da temperatura média, entre março e setembro, em 2020 março foi o mês mais frio com 12,3°C e julho o mês mais quente, com 24,1°C. Em 2021, simultaneamente como em 2020, a temperatura média mínima registou-se no mesmo mês, com 12,5°C e a temperatura média mais elevada foi no mês de agosto com 20,9°C (Figura 4.3). Avaliando a média total entre março e setembro, verifica-se que 2020 foi o ano mais quente, 18,4°C (2020) e 17,4°C (2021), verificando-se uma variação de um 1°C.

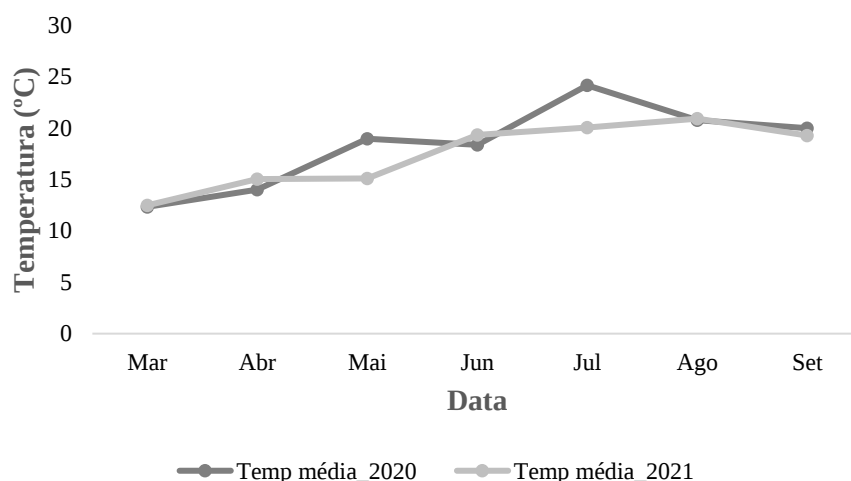


Figura 4.3 - Temperatura média mensal entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.

Relativamente à precipitação, analisando a Figura 4.4, verifica-se que, entre março e setembro, no ano de 2020, apesar de não ter ocorrido precipitação no mês de julho, este

foi o ano que mais choveu, totalizando 526,11 mm, sendo março o mês com maior pluviosidade, 204,66 mm. Observando a variável humidade média, esta é superior em abril (84,4%) e menor no mês em que se registou a temperatura média mais elevada (julho), com 66,1%.

Analisando o ano de 2021, este totalizou 481,43 mm de precipitação. Setembro registou uma maior ocorrência de precipitação, com 147,42 mm, e março com uma menor precipitação, 15,89 mm. Quanto à variável humidade média, verifica-se que no mês em que a precipitação foi menor, esta também é menor, e vice-versa, com um total de 74,8% e 81,8%, respetivamente.

O ano de 2021, entre março e setembro, totalizou um menor volume de precipitação comparativamente com 2020 (526,11 mm e 881,43 mm), verificando-se que o mês em que o registo desta variável foi inferior, a humidade média também foi.

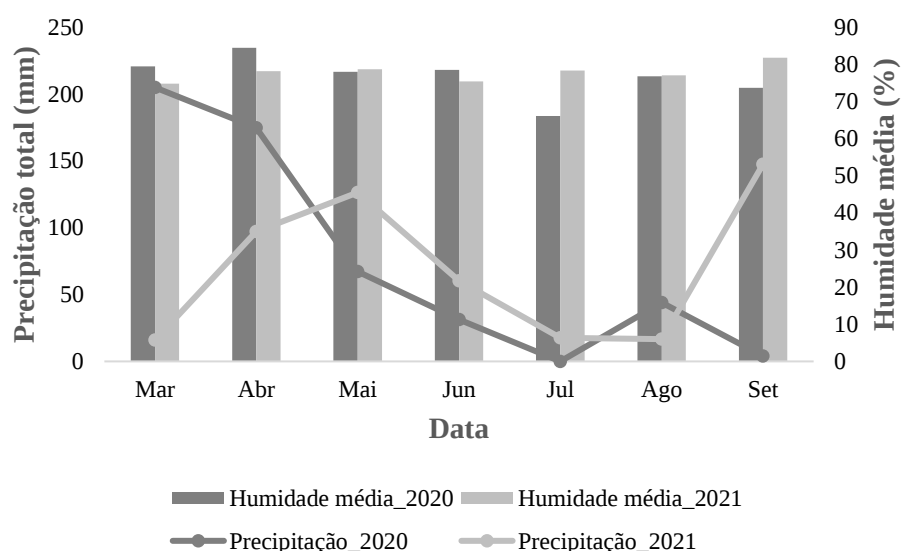


Figura 4.4 – Humidade média e precipitação total entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.

Os valores de ETo foram obtidos com recurso à equação de Penman-Monteith, com a finalidade de estudar a evapotranspiração. Desta forma, foram utilizados os dados meteorológicos obtidos através da estação meteorológica. O valor da ETo depende de diversos fatores climatéricos, como temperatura, precipitação, radiação e intensidade do vento.

Na Figura 4.5 estão registadas as médias das variáveis de ETc e ETo. Observa-se que, no ano de 2020, a evapotranspiração cultural e de referência média foram mais elevadas no

mês mais quente (julho), com 3,89 mm e 5,55 mm respetivamente, e por outro lado a mais baixa foi no mês de abril, com 1,40 mm e 1,99 mm respetivamente.

Relativamente ao ano de 2021, o mês de junho foi o que registou uma ETo superior (3,97 mm), e março o mês em que o registo desta variável foi menor (2,28 mm). Quanto à ETc esta foi superior no mês de junho, com 2,78 mm.

Desta forma verifica-se que a evapotranspiração média aumentou paralelamente ao aumento da temperatura média, e vice-versa, com exceção do mês de abril (2020) e julho (2021). Isto pode dever-se ao facto de a humidade média ter aumentado de março para abril (2020) e de junho para junho (2021), como se pode verificar na Figura anterior (4.4).

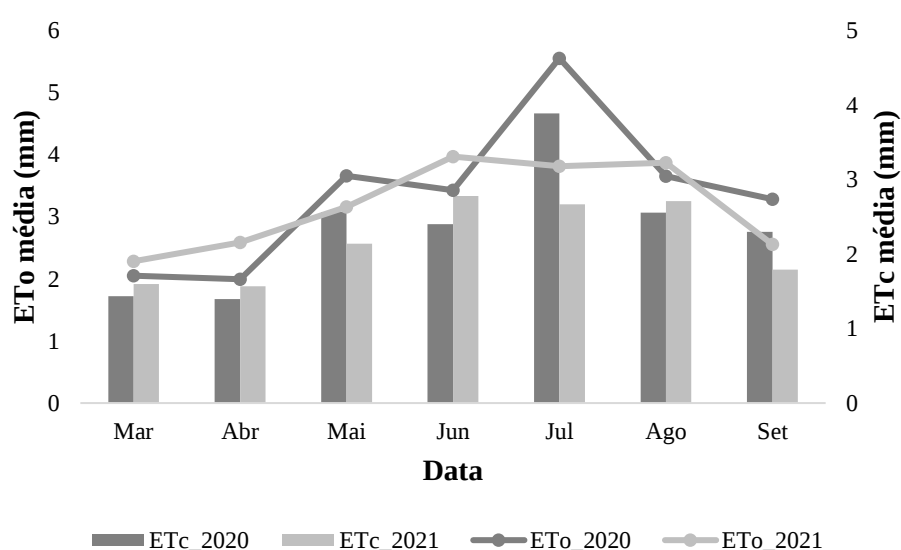


Figura 4.5 – Evapotranspiração de referência (ETo, mm dia⁻¹) média e evapotranspiração potencial cultural (ETc, mm dia⁻¹) média entre março e setembro, referente aos anos de 2020 e 2021.

4.3. Teor de água no solo em cada uma das estratégias de rega

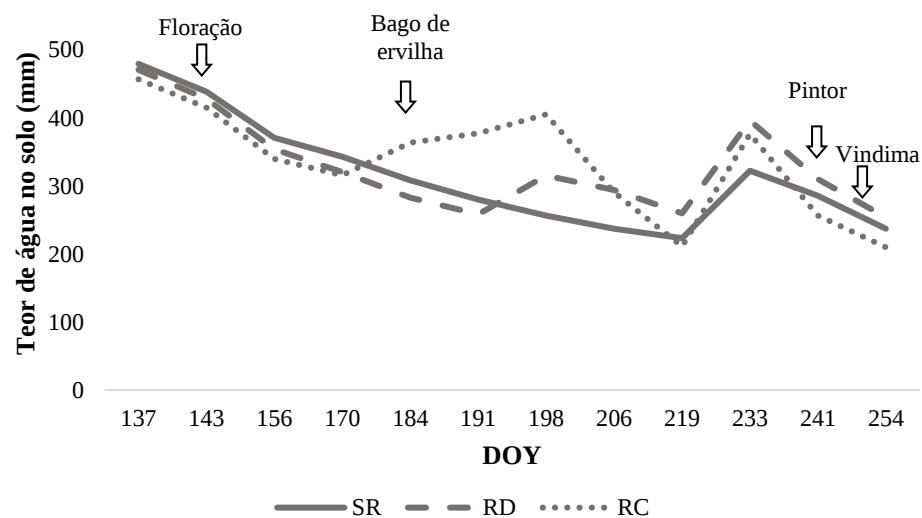
A monitorização de água no solo, nas diferentes estratégias de rega, foi realizada com a sonda capacitiva (Diviner) até à profundidade máxima de 80 cm, sendo monitorizadas no total oito profundidades (de 10 em 10 cm). Os registos foram realizados entre o dia 16 de maio (DOY 137) e o 10 de setembro (DOY 254) no ano de 2020 e entre 16 de junho (DOY 167) e 6 de setembro (DOY 249) de 2021 (Figura 4.6).

Analisando as diferentes estratégias de rega no ano de 2020, verifica-se que o teor de água no solo na estratégia RC e RD aumentou com o início da rega (DOY 162). Quanto à estratégia SR, há uma diminuição do teor de água no solo entre o DOY 137 e o DOY 219

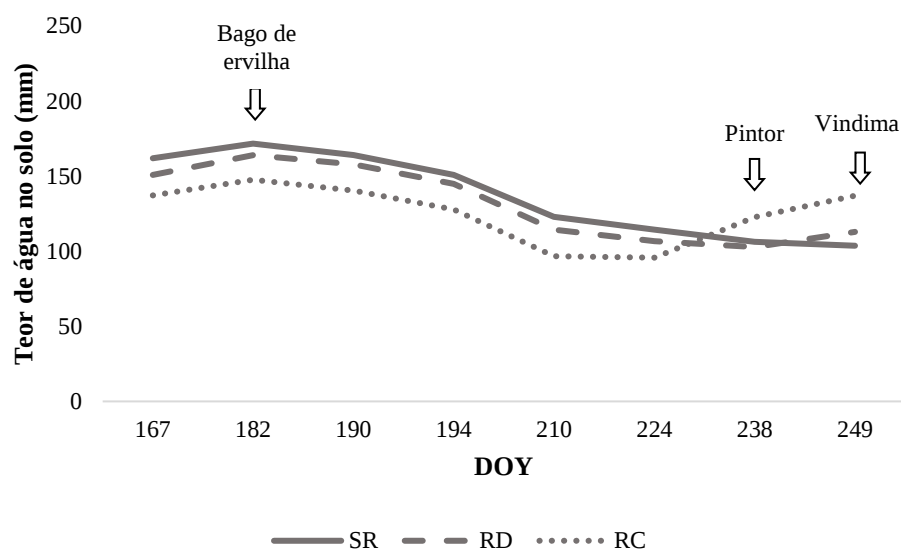
e posteriormente um aumento. Isto pode dever-se ao facto de ter chovido entre o dia 16 (DOY 229) e 19 de agosto (DOY 232). Também se verifica que o teor de água nas diferentes estratégias encontra-se mais próximo até ao período do bago de ervilha, e a partir daí o teor de água é superior na RC até ao DOY 198. Posteriormente há uma descida acentuada, estando relacionado com a avaria das bombas.

No ano de 2021, na estratégia SR, verifica-se a partir do DOY 182, uma descida sucessiva até à última medição (DOY 249) do teor de água no solo. Na RD verifica-se o mesmo até ao estado fenológico pintor (DOY 238), em que depois há um aumento, podendo este estar relacionado com o início da rega (DOY 224). Na RC a partir do vago de ervilha até ao DOY 224 observa-se uma diminuição do teor de água no solo, posteriormente existe um aumento até à vindima. Tal como na RD, este aumento na RC pode estar relacionado com o início da rega.

Comparando os dois anos, 2021 teve valores muito inferiores de teor de água no solo nas diferentes estratégias de rega. Este resultado pode dever-se ao facto de a rega ter iniciado aproximadamente um mês mais tarde do que no ano de 2020. Outro fator terá a ver com a precipitação, em que 2020 registou uma média superior entre os meses de março e setembro.



A



B

Figura 4.6— Teor de água no solo (mm), nas diferentes estratégias de rega (SR; RD e RC) no ano de 2020 (A) e 2021 (B) entre o DOY 137 e 254 e o DOY 167 e 249, respectivamente.

4.4. Evolução do potencial hídrico do ramo

O potencial hídrico foliar de base e do ramo, são considerados bons indicadores da estimativa da disponibilidade hídrica do solo. Relativamente ao potencial hídrico do ramo, determinado ao meio-dia solar, indica-nos qual o estado hídrico da planta na altura do dia mais crítica em termos de stress térmico (Lampinen *et al.*, 2001). O estado hídrico da planta está dependente do equilíbrio entre a absorção e as perdas de água por transpiração e por isso um decréscimo do teor de água nas folhas vai levar a uma redução da taxa fotossintética. Os défices hídricos afetam a fotossíntese através da sua influência

na ação de abertura dos estomas. Desta forma, o progressivo fecho dos estomas contribuirá para uma gradual diminuição da quantidade de dióxido de carbono absorvido (Teixeira e Ricardo, 1983; Chaves *et al.*, 2002).

A determinação do potencial hídrico do ramo foi realizada no ano de 2020 e 2021, entre 9 de julho e 10 de setembro (DOY 191 e 254), e entre 16 de junho e 6 de setembro (DOY 167 e 249), respetivamente (Figura 4.7). Foram monitorizadas no total vinte plantas nas diferentes estratégias de rega (SR, RD e RC), sendo quatro plantas por estratégia.

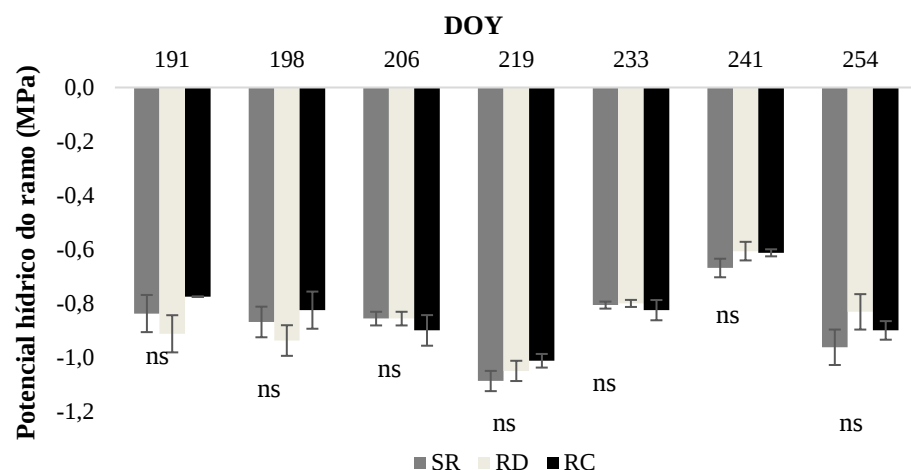
Analisando o ano de 2020, o maior défice hídrico regista-se no DOY 219, -1,1 MPa na estratégia SR e RD, e -1,0 MPa na RC, encontrando-se no grau de défice hídrico ligeiro a moderado.

O menor défice hídrico regista-se no DOY 241, sendo -0,7 MPa na estratégia SR e -0,6 nas estratégias RD e RC, correspondendo a um défice hídrico ligeiro. Entre o DOY 191 e 219 observa-se um aumento do potencial hídrico do ramo podendo estar relacionado com uma diminuição do teor de água no solo e com as condições atmosféricas, particularmente com o aumento da temperatura e diminuição da pluviosidade, visto que quanto mais altas as temperaturas, maior a evaporação e em contrapartida uma redução gradual do teor de água na planta.

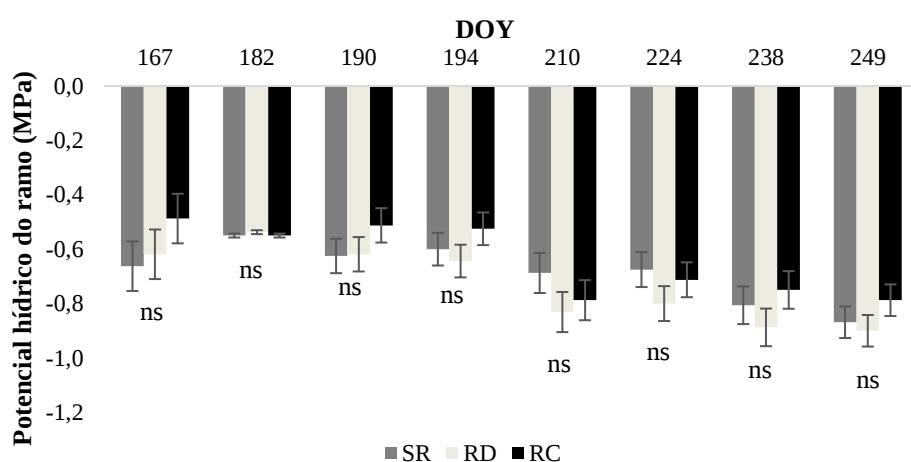
Relativamente ao ano de 2021, verifica-se que o menor défice hídrico ocorreu no DOY 167 na estratégia RC (-0,5 MPa) e no DOY 182 na estratégia SR e RD (-0,5 MPa), correspondendo ao grau de conforto hídrico.

Quanto ao maior défice hídrico, este regista-se no DOY 249, em todas as estratégias de rega, sendo -0,9 MPa nas estratégias SR e RD, e -0,8 MPa na estratégia RC, correspondendo a um défice hídrico ligeiro.

Verifica-se que há uma oscilação entre os diferentes DOY nos diferentes anos, podendo relacionar-se com a variação de temperatura, visto que quando existe um aumento de temperatura entre os DOY, o potencial hídrico aumenta e vice-versa.



A



B

Figura 4.7 - Potencial hídrico do ramo (MPa) para a vinha com diferentes estratégias de irrigação: completa (RC), rega deficitária (RD) e sem rega (SR), durante o ano de 2020 (A) e 2021 (B). As estratégias não são significativamente diferentes (ns).

Analisando a Figura 4.8, observa-se que o potencial hídrico do ramo se relaciona com o teor de água no solo nas diferentes estratégias de rega, uma vez que, quando se regista um aumento do teor de água no solo o défice hídrico diminui e vice-versa. Quando isso não se verifica, como por exemplo no DOY 241, em que o teor de água no solo e o défice hídrico diminuíram, pode dever-se ao facto de uma diminuição da temperatura.

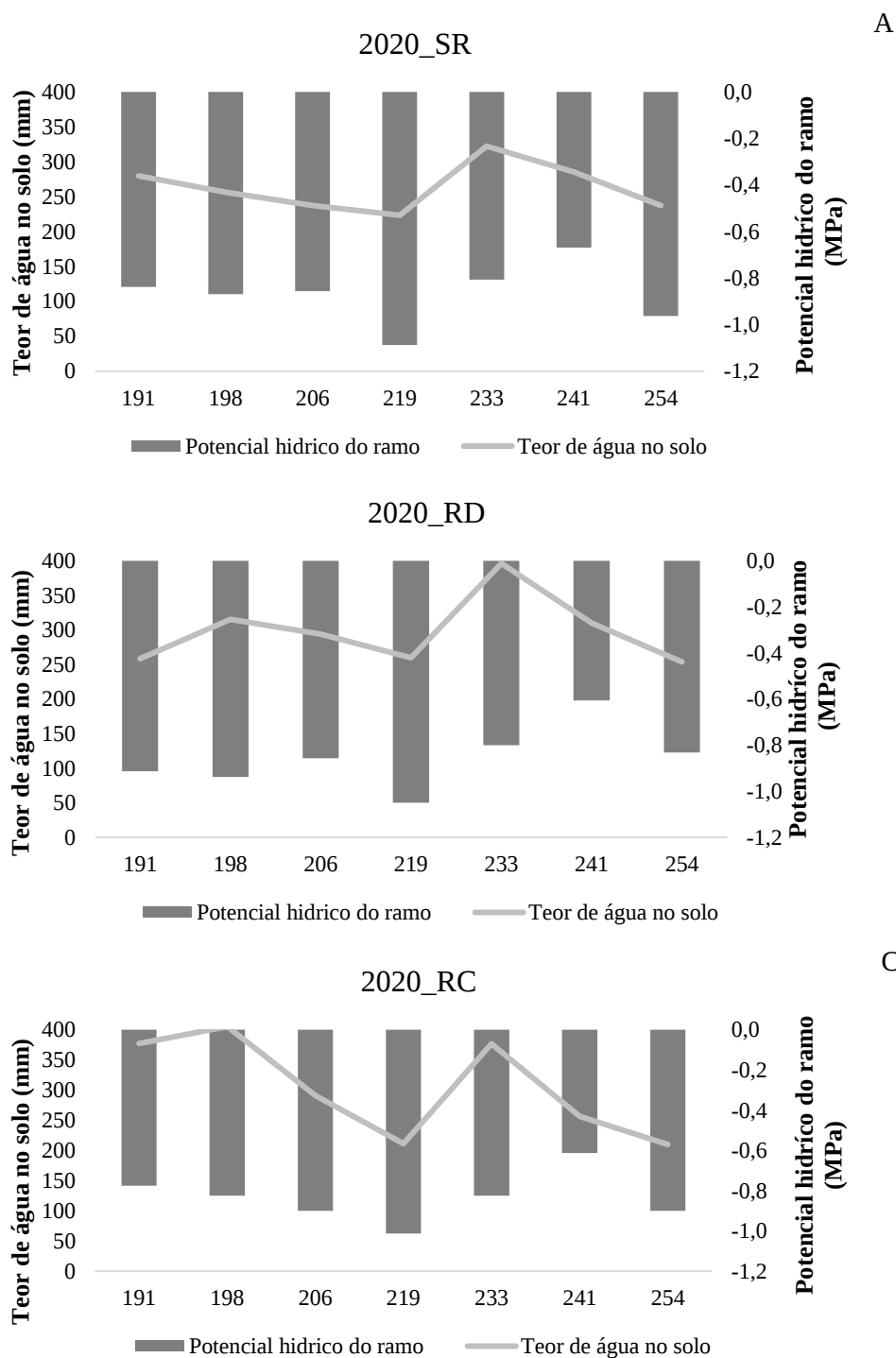


Figura 4.8 – Teor de água no solo (mm) e potencial hídrico do ramo (MPa) no ano de 2020 nas diferentes estratégias de rega SR (A), RD (B) e RC (C).

Analisando a relação entre o potencial hídrico do ramo e o teor de água no solo nas diferentes estratégias de rega no ano de 2021 (Figura 4.9), verifica-se o mesmo registo que no ano anterior (2020), ou seja, quando se verifica um aumento do teor de água no solo, observa-se uma diminuição do défice hídrico e vice-versa, exceto na estratégia RC.

Entre o DOY 224 e 249 verifica-se um aumento destes parâmetros nesta estratégia (RC), podendo o aumento do potencial hídrico estar relacionado com as condições atmosféricas, mais propriamente com a temperatura. Apesar deste aumento, as plantas encontravam-se no grau de défice hídrico ligeiro.

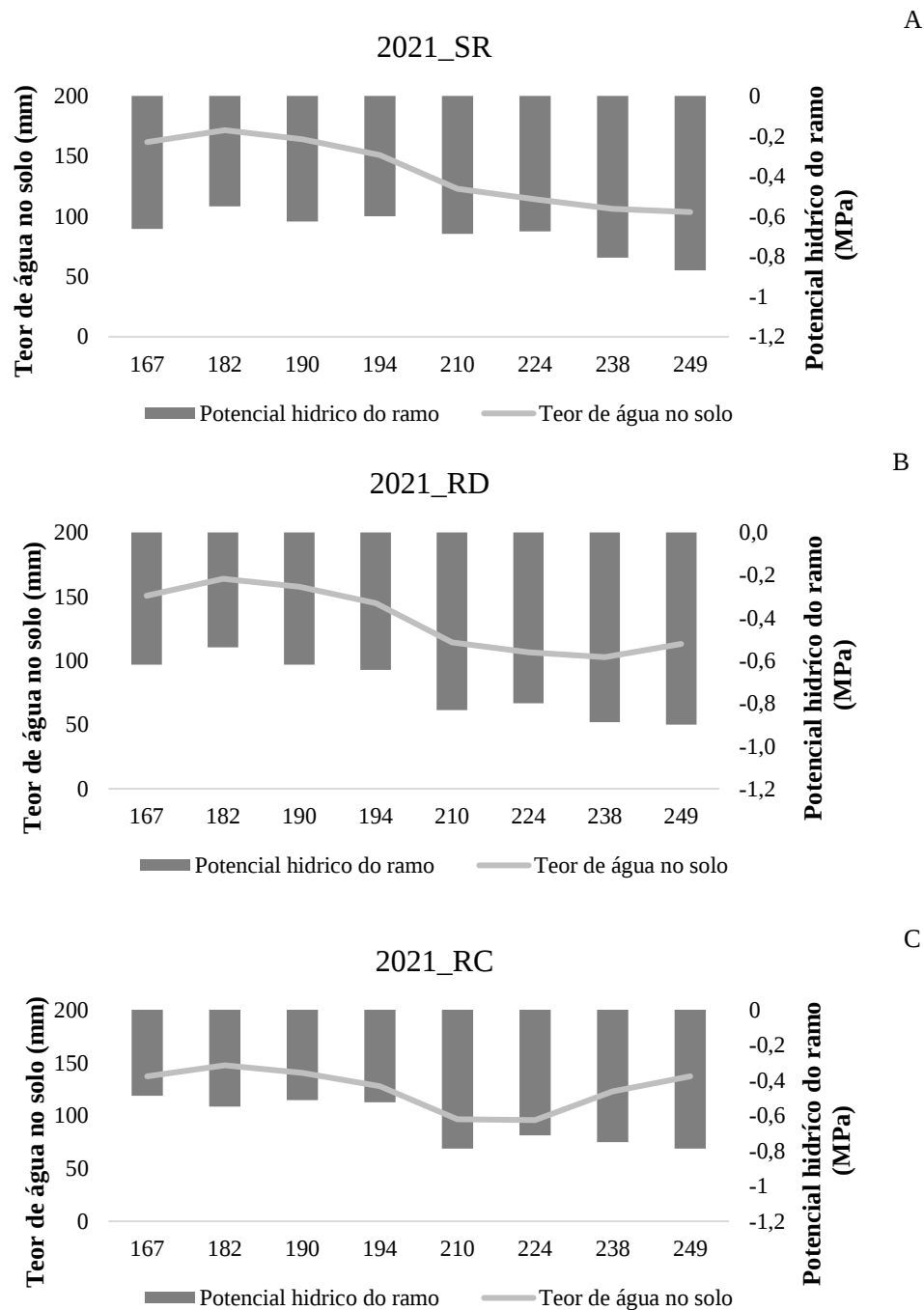


Figura 4.9 - Teor de água no solo (mm) e potencial hídrico do ramo (MPa) no ano de 2021 nas diferentes estratégias de rega SR (A), RD (B) e RC (C).

4.5. Registo do índice NDVI

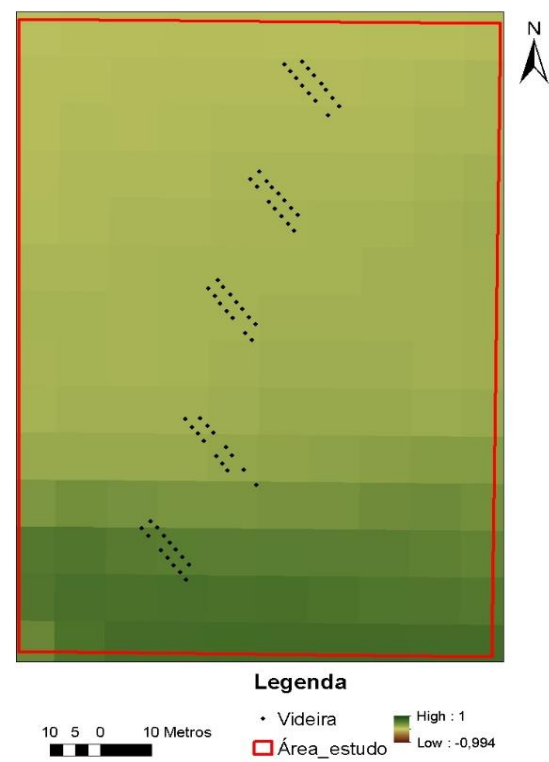
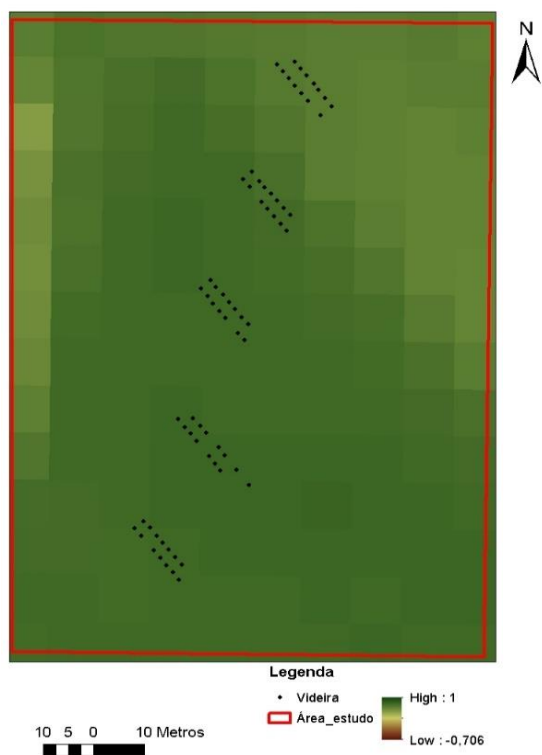
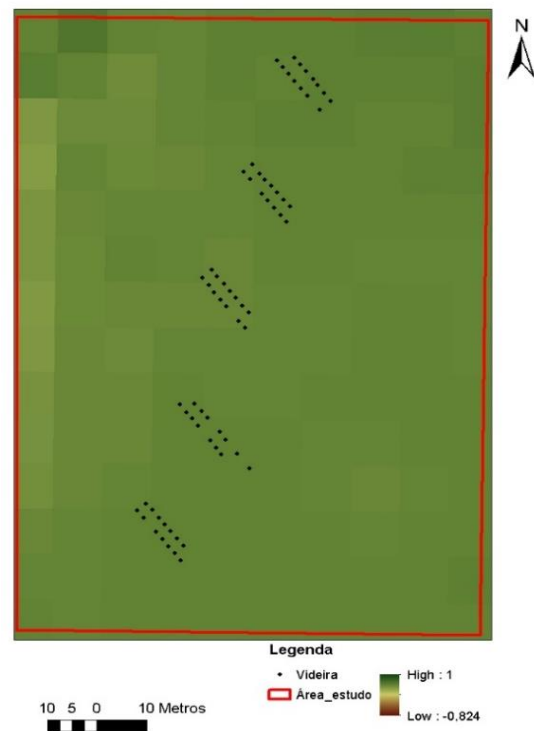
Os valores de NDVI nas diferentes datas para as diferentes imagens de satélite referentes ao ano de 2020, encontram-se representados na Figura 4.10.

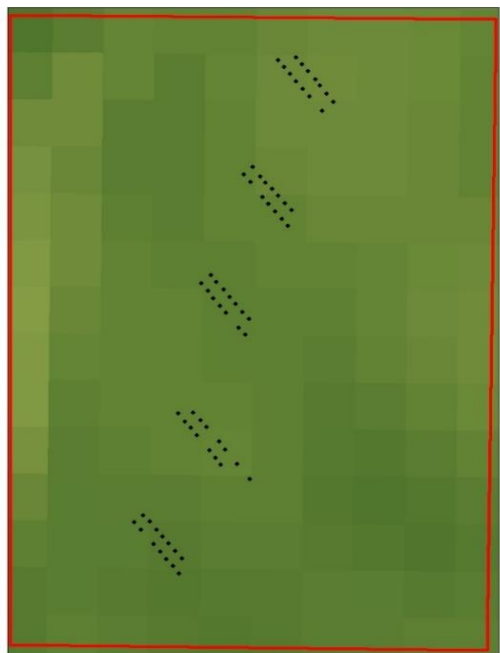
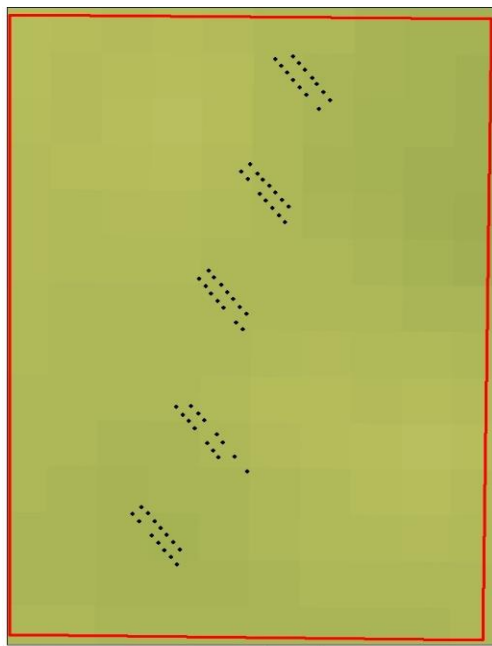
Os valores de NDVI situam-se entre 0,10 e 0,71. Nas datas em que existia alguma nebulosidade estes valores são mais baixos, situando-se abaixo dos 0,4 (18 de junho com 0,25; 21 de julho com 0,14 e 27 de agosto com 0,10), devendo-se ao facto de estas terem interferência na qualidade das imagens, e por sua vez interferir na determinação do NDVI. As imagens com índice de NDVI igual ou superior a 0,4 são características de culturas com vegetação moderada a densa e que se encontram em estado de sanidade moderado a muito saudável.

As fases referentes ao estado fenológico em que se determinou os valores de NDVI, estão descritas no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Fase fenológica determinado através da escala de Eichorn & Lorenz, modificada por Coombe, referente ao ano de 2020.

2020	Fase fenológica
07 de maio	Desenvolvimento do pânpano e da inflorescência
24 de maio	
29 de maio	Floração
18 de junho	
18 de julho	Desenvolvimento do bago
21 de julho	
28 de julho	
07 de agosto	
20 de agosto	Maturação
27 de agosto	
30 de agosto	





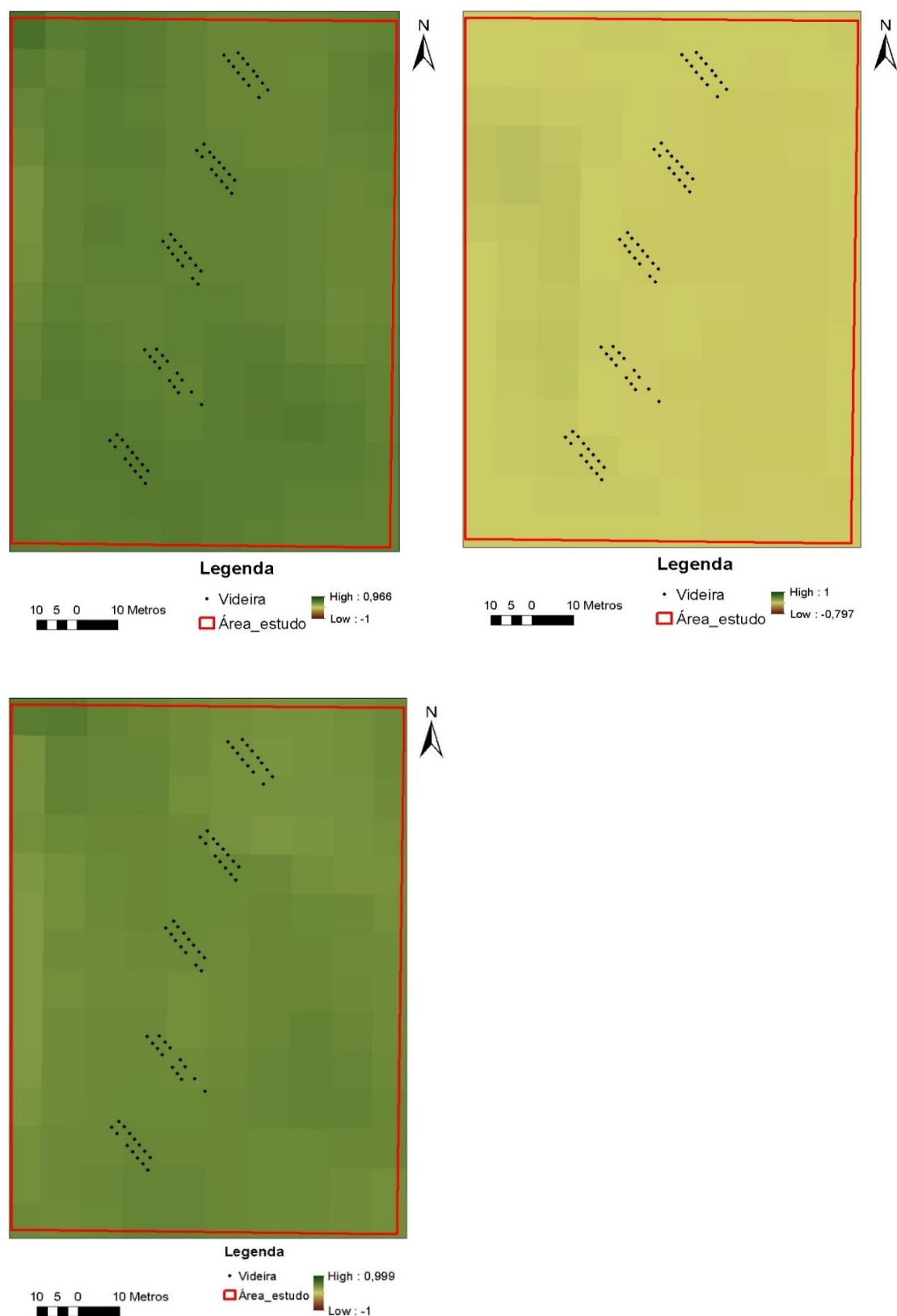


Figura 4.10 - Índice de vegetação NDVI referente aos dias 7, 24 e 29 de maio; 18 de junho; 18, 21 e 28 de julho; 7, 20, 27 e 30 de agosto de 2020, respetivamente.

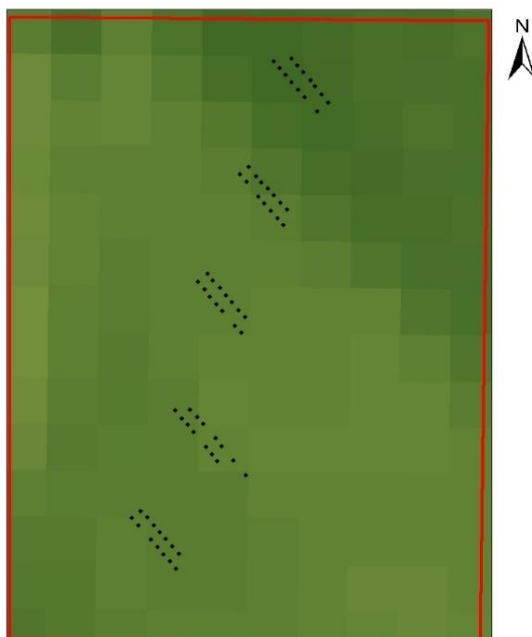
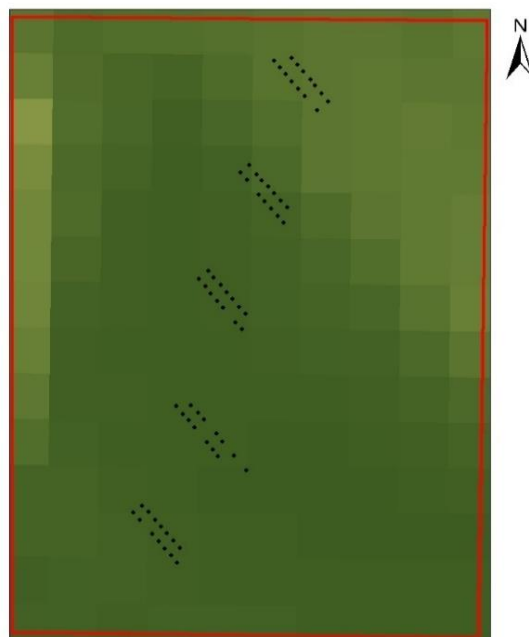
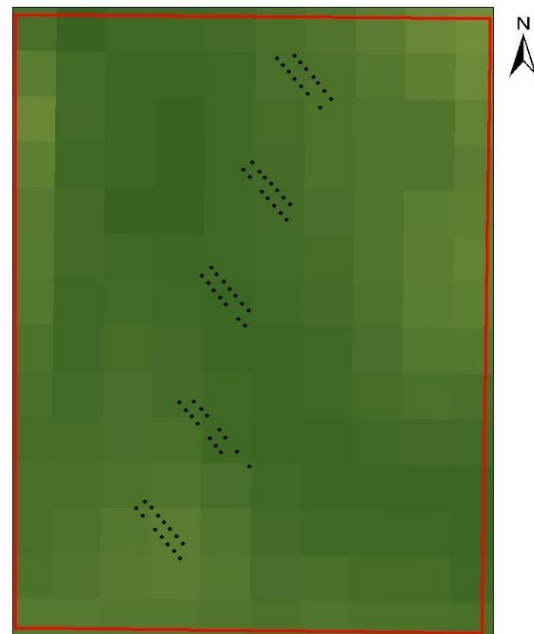
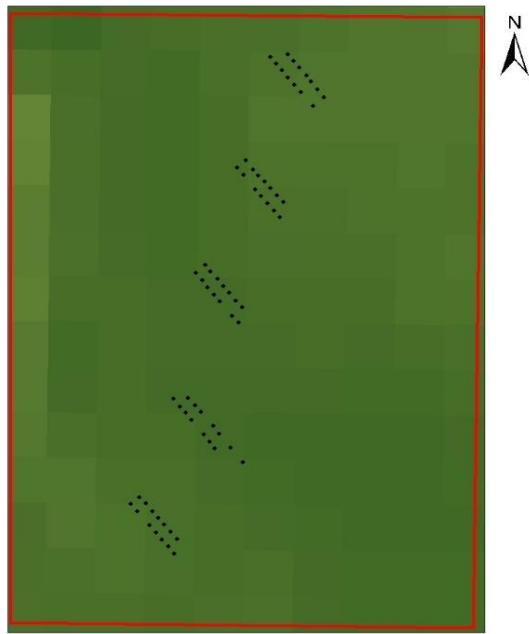
Os valores de NDVI nas diferentes datas para as diferentes imagens de satélite referentes ao ano de 2021, encontram-se representados na Figura 4.11.

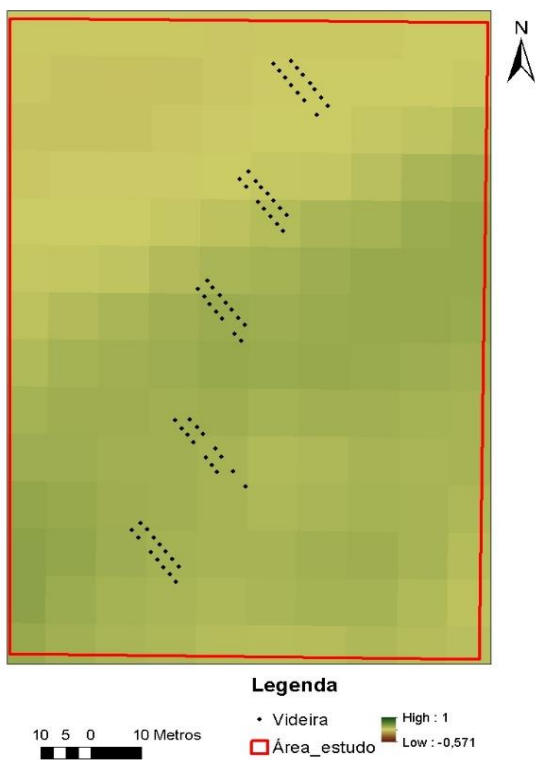
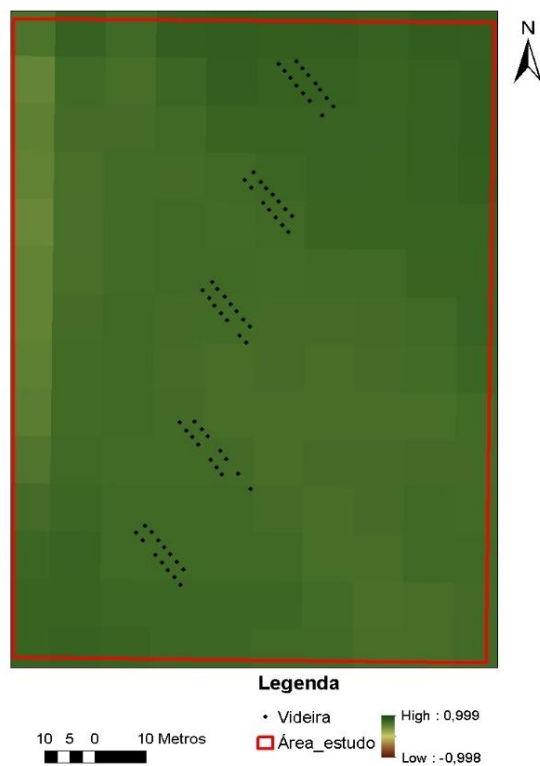
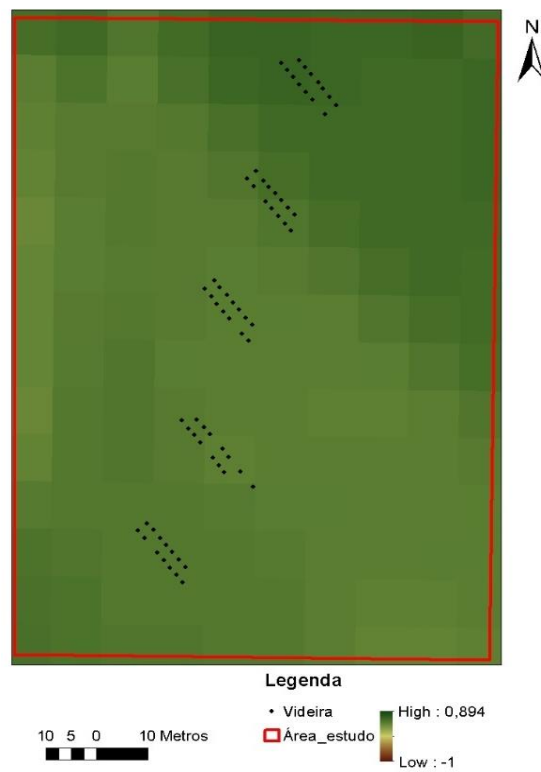
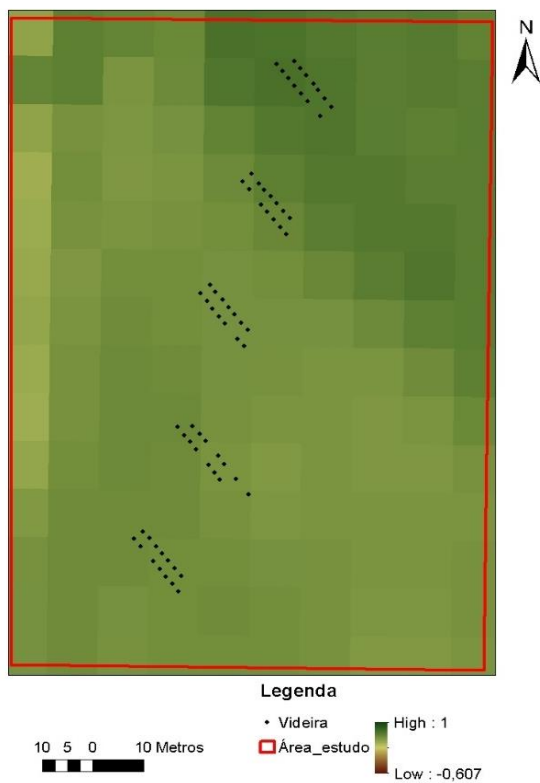
Os valores de NDVI situam-se entre 0,31 e 0,71. A imagem com valor mais baixo (0,31) refere-se a um dia com alguma nebulosidade (3 de julho). Como referido anteriormente, as nuvens têm interferência na qualidade das imagens e em contrapartida no cálculo do NDVI. As restantes imagens registam valores situados entre 0,42 e 0,71, sendo estes característicos de culturas com estado de sanidade moderado a muito saudável, e com vegetação moderada a densa.

As fases referentes ao estado fenológico em que se determinou os valores de NDVI, estão descritas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Fase fenológica determinado através da escala de Eichorn & Lorenz, modificada por Coombe, referente ao ano de 2021.

2021	Fase fenológica
04 de maio	Desenvolvimento do pânpano e da inflorescência
17 de maio	
29 de maio	
06 de junho	Desenvolvimento do bago
08 de junho	
11 de junho	
26 de junho	
03 de julho	
16 de julho	
12 de agosto	Maturação
15 de agosto	
04 de setembro	





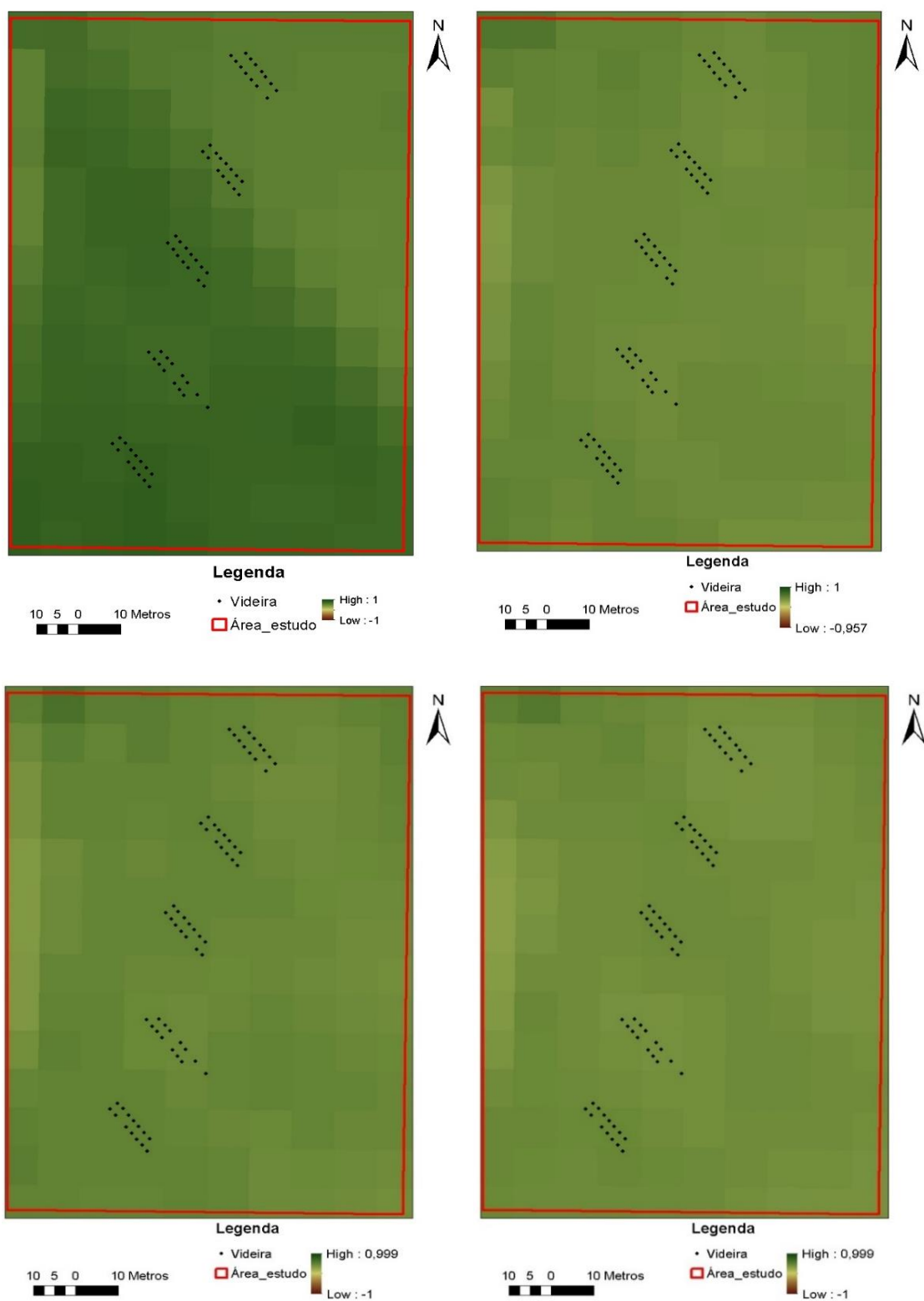


Figura 4.11 - Índice de vegetação NDVI referente aos dias 4, 17 e 29 de maio; 6, 8, 11 e 26 de junho; 3 e 16 de julho; 12 e 15 de agosto e 4 de setembro de 2021, respetivamente.

Através do ArcGis, tal como referido anteriormente, foi extraída informação estatística relativa ao índice de vegetação NDVI, nomeadamente o valor mínimo e máximo, média

e desvio padrão (Quadro 4.4). Os valores nas diferentes estratégias de rega não são significativamente diferentes.

Quadro 4.4 – Valores de NDVI das imagens de satélite, referentes ao ano de 2020 e 2021.

Imagem	Data	Estratégia de rega	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
2020						
Satélite	07/05/2020	SR_1	0,62	0,63	0,63	0,00
		SR_2	0,62	0,62	0,62	0,00
		RD_1	0,64	0,65	0,64	0,00
		RD_2	0,65	0,65	0,65	0,00
		RC	0,63	0,63	0,63	0,00
Satélite	24/05/2020	SR_1	0,55	0,56	0,56	0,00
		SR_2	0,52	0,52	0,52	0,00
		RD_1	0,53	0,55	0,54	0,01
		RD_2	0,54	0,54	0,54	0,00
		RC	0,54	0,54	0,54	0,00
Satélite	29/05/2020	SR_1	0,60	0,63	0,62	0,01
		SR_2	0,75	0,75	0,75	0,00
		RD_1	0,73	0,73	0,73	0,00
		RD_2	0,76	0,76	0,76	0,00
		RC	0,74	0,74	0,74	0,00
Satélite	18/06/2020	SR_1	0,12	0,13	0,12	0,01
		SR_2	0,18	0,18	0,18	0,00
		RD_1	0,15	0,16	0,16	0,01
		RD_2	0,38	0,38	0,38	0,00
		RC	0,63	0,63	0,63	0,00
Satélite	18/07/2020	SR_1	0,46	0,49	0,48	0,01
		SR_2	0,57	0,57	0,57	0,00
		RD_1	0,52	0,55	0,54	0,02
		RD_2	0,55	0,55	0,55	0,00
		RC	0,61	0,61	0,61	0,00
Satélite	21/07/2020	SR_1	0,13	0,15	0,14	0,01
		SR_2	0,13	0,13	0,13	0,00
		RD_1	0,11	0,14	0,12	0,01
		RD_2	0,14	0,14	0,14	0,00
		RC	0,16	0,16	0,16	0,00
Satélite	28/07/2020	SR_1	0,44	0,45	0,45	0,00
		SR_2	0,53	0,53	0,53	0,00
		RD_1	0,49	0,51	0,50	0,01

		RD_2	0,52	0,52	0,52	0,00
		RC	0,57	0,57	0,57	0,00
Satélite	07/08/2020	SR_1	0,42	0,42	0,42	0,00
		SR_2	0,50	0,50	0,50	0,00
		RD_1	0,46	0,47	0,47	0,01
		RD_2	0,48	0,48	0,48	0,00
		RC	0,54	0,54	0,54	0,00
Satélite	20/08/2020	SR_1	0,44	0,44	0,44	0,00
		SR_2	0,48	0,48	0,48	0,00
		RD_1	0,47	0,47	0,47	0,00
		RD_2	0,50	0,50	0,50	0,00
		RC	0,53	0,53	0,53	0,00
Satélite	27/08/2020	SR_1	0,08	0,11	0,09	0,01
		SR_2	0,08	0,08	0,08	0,00
		RD_1	0,09	0,10	0,09	0,00
		RD_2	0,09	0,09	0,09	0,00
		RC	0,12	0,12	0,12	0,00
Satélite	30/08/2020	SR_1	0,39	0,40	0,39	0,00
		SR_2	0,45	0,45	0,45	0,00
		RD_1	0,44	0,46	0,45	0,01
		RD_2	0,45	0,45	0,45	0,00
		RC	0,48	0,48	0,48	0,00
2021						
Satélite	04/05/2021	SR_1	0,60	0,62	0,61	0,01
		SR_2	0,67	0,67	0,67	0,00
		RD_1	0,63	0,65	0,64	0,01
		RD_2	0,67	0,67	0,67	0,00
		RC	0,64	0,64	0,64	0,00
Satélite	17/05/2021	SR_1	0,62	0,63	0,63	0,01
		SR_2	0,71	0,71	0,71	0,00
		RD_1	0,68	0,70	0,69	0,01
		RD_2	0,64	0,64	0,64	0,00
		RC	0,54	0,54	0,54	0,00
Satélite	29/05/2021	SR_1	0,60	0,63	0,62	0,01
		SR_2	0,75	0,75	0,75	0,00
		RD_1	0,73	0,73	0,73	0,00
		RD_2	0,76	0,76	0,76	0,00
		RC	0,74	0,74	0,74	0,00
Satélite	06/06/2021	SR_1	0,69	0,70	0,69	0,01
		SR_2	0,52	0,52	0,52	0,00

		RD_1	0,54	0,54	0,54	0,00
		RD_2	0,53	0,53	0,53	0,00
		RC	0,54	0,54	0,54	0,00
Satélite	08/06/2021	SR_1	0,68	0,70	0,69	0,01
		SR_2	0,52	0,52	0,52	0,00
		RD_1	0,55	0,57	0,56	0,01
		RD_2	0,51	0,51	0,51	0,00
		RC	0,53	0,53	0,53	0,00
Satélite	11/06/2021	SR_1	0,61	0,64	0,63	0,01
		SR_2	0,47	0,47	0,47	0,00
		RD_1	0,51	0,52	0,51	0,00
		RD_2	0,48	0,48	0,48	0,00
		RC	0,50	0,50	0,50	0,00
Satélite	26/06/2021	SR_1	0,74	0,77	0,75	0,01
		SR_2	0,69	0,69	0,69	0,00
		RD_1	0,69	0,71	0,70	0,01
		RD_2	0,69	0,69	0,69	0,00
		RC	0,72	0,72	0,72	0,00
Satélite	03/07/2021	SR_1	0,21	0,22	0,22	0,01
		SR_2	0,38	0,38	0,38	0,00
		RD_1	0,22	0,29	0,26	0,03
		RD_2	0,34	0,34	0,34	0,00
		RC	0,33	0,33	0,33	0,00
Satélite	16/07/2021	SR_1	0,52	0,55	0,54	0,01
		SR_2	0,73	0,73	0,73	0,00
		RD_1	0,58	0,61	0,59	0,02
		RD_2	0,73	0,73	0,73	0,00
		RC	0,79	0,79	0,79	0,00
Satélite	12/08/2021	SR_1	0,45	0,47	0,46	0,01
		SR_2	0,47	0,47	0,47	0,00
		RD_1	0,47	0,48	0,47	0,01
		RD_2	0,45	0,45	0,45	0,00
		RC	0,50	0,50	0,50	0,00
Satélite	15/08/2021	SR_1	0,43	0,48	0,45	0,02
		SR_2	0,49	0,49	0,49	0,00
		RD_1	0,48	0,50	0,49	0,01
		RD_2	0,48	0,48	0,48	0,00
		RC	0,51	0,51	0,51	0,00
Satélite	04/09/2021	SR_1	0,39	0,40	0,40	0,01
		SR_2	0,45	0,45	0,45	0,00

RD_1	0,43	0,46	0,44	0,01
RD_2	0,41	0,41	0,41	0,00
RC	0,46	0,46	0,46	0,00

Relativamente às imagens obtidas através de VANT, visto estas só serem cinco, englobando os dois anos em estudo, foi decidido não as utilizar por motivos de serem poucos dados para correlacionar, e a nível estatístico estes não teriam muita evidência.

4.5.1. Calibração e validação dos dados

Quanto ao procedimento de calibração e validação, optou-se por fazer a calibração para o ano de 2020 e a validação para o ano de 2021 para as diferentes estratégias de rega.

Correlacionou-se as variáveis (Kcb real e NDVI) através de uma equação linear, no qual a reta foi forçada na origem, tendo esta um R^2 consideravelmente maior, significando que se o NDVI é igual a zero, o Kcb real também seja zero. Por exemplo, se o NDVI zero representar ausência de vegetação, e isso implicar que o coeficiente de cultivo basal Kcb real também deva ser zero (não existe transpiração).

Na Figura 4.12 e no Quadro 4.5 estão apresentados os valores referentes à estratégia SR. Analisando a reta, verifica-se uma forte correlação entre as variáveis ($R^2 = 0,7$) nesta estratégia.

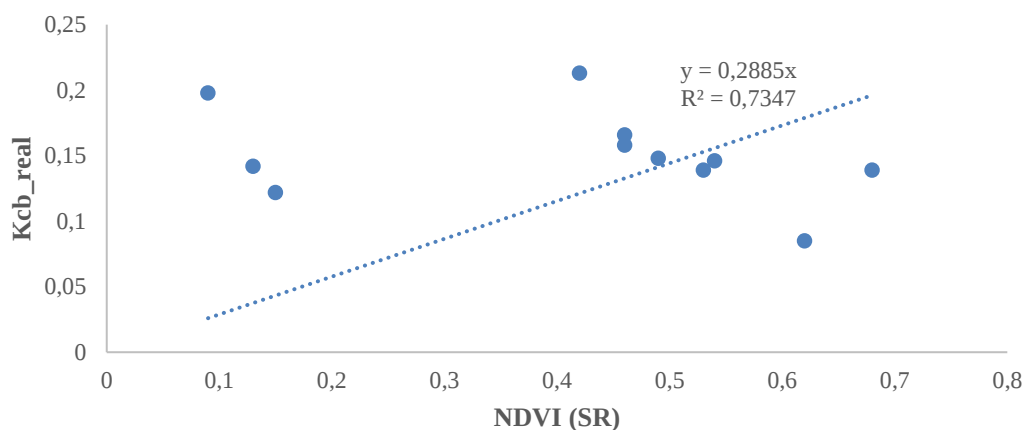


Figura 4.12 – Calibração com os valores de NDVI com o Kcb real, para a estratégia SR, forçando a origem.

Quadro 4.5 - Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia SR.

Data	NDVI (SR)	Kcb real	Kcb previsão
04-05-2021	0,64	0,058	0,185
17-05-2021	0,65	0,098	0,193
29-05-2021	0,71	0,148	0,196
06-06-2021	0,56	0,162	0,173
08-06-2021	0,57	0,166	0,176
11-06-2021	0,52	0,153	0,159
26-06-2021	0,71	0,123	0,208
03-07-2021	0,31	0,117	0,084
16-07-2021	0,66	0,116	0,182
12-08-2021	0,47	0,176	0,136
15-08-2021	0,48	0,175	0,136
04-09-2021	0,42	0,145	0,121

A estratégia RD, apresenta um R^2 de 0,7, significando uma forte correlação entre as variáveis (Figura 4.13 e Quadro 4.6).

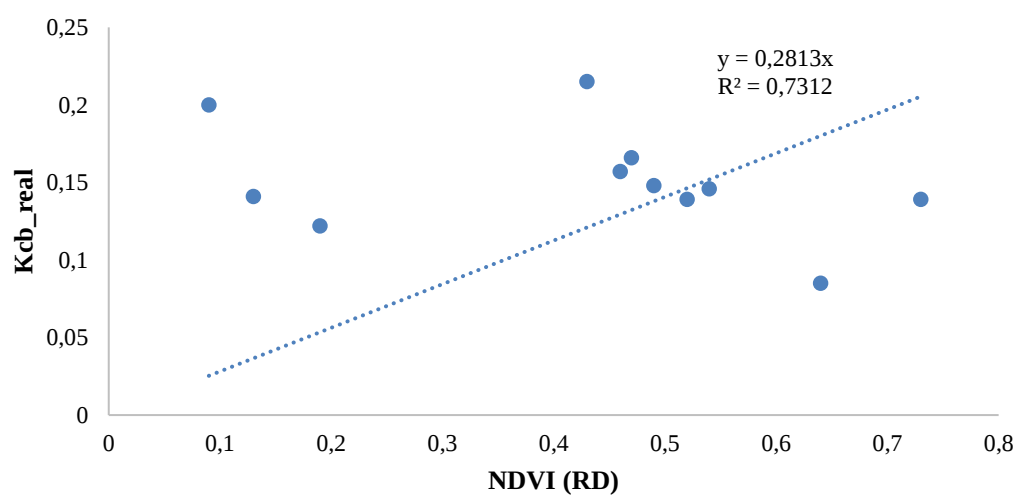


Figura 4.13 – Calibração com os valores de NDVI com o Kcb real, para a estratégia RD, forçando a origem.

Quadro 4.6 - Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia RD.

Data	NDVI (RD)	Kcb real	Kcb previsão
04-05-2021	0,65	0,058	0,183
17-05-2021	0,68	0,098	0,191
29-05-2021	0,73	0,148	0,205
06-06-2021	0,54	0,162	0,152
08-06-2021	0,55	0,166	0,155
11-06-2021	0,5	0,153	0,141
26-06-2021	0,69	0,123	0,194
03-07-2021	0,31	0,117	0,087
16-07-2021	0,63	0,116	0,177
12-08-2021	0,45	0,176	0,127
15-08-2021	0,46	0,175	0,129
04-09-2021	0,41	0,145	0,115

Relativamente à estratégia RC, analisando os resultados, verifica-se que é a estratégia que melhor correlação apresenta (0,8) (Figura 4.14 e Quadro 4.7).

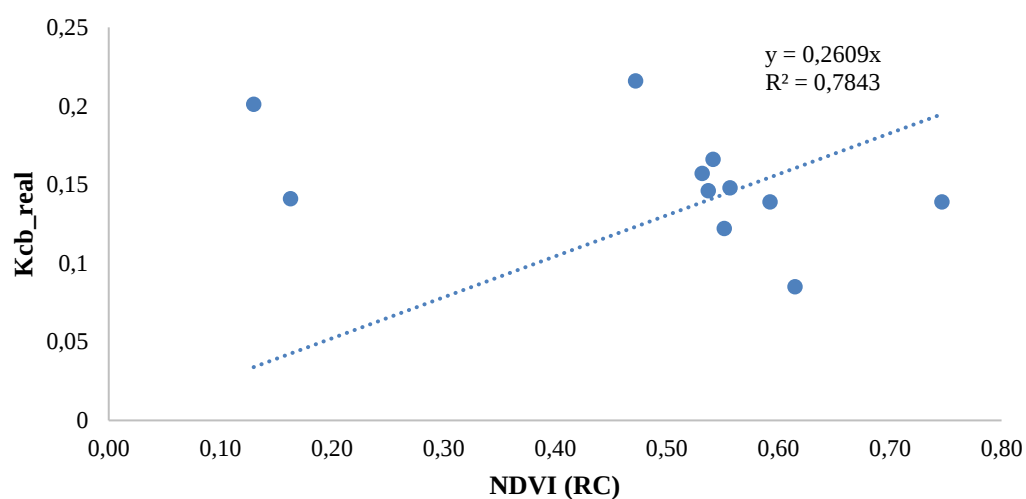


Figura 4.14 – Calibração com os valores de NDVI com o Kcb real, para a estratégia RC, forçando a origem.

Quadro 4.7 – Validação através da equação linear, obtendo o Kcb previsão para a estratégia RC.

Data	NDVI (RC)	Kcb real	Kcb previsão
04-05-2021	0,64	0,058	0,167
17-05-2021	0,54	0,098	0,142
29-05-2021	0,75	0,148	0,195
06-06-2021	0,54	0,162	0,140
08-06-2021	0,53	0,166	0,139
11-06-2021	0,50	0,153	0,129
26-06-2021	0,70	0,123	0,184
03-07-2021	0,35	0,117	0,092
16-07-2021	0,78	0,116	0,203
12-08-2021	0,50	0,176	0,129
15-08-2021	0,50	0,175	0,131
04-09-2021	0,45	0,145	0,118

Avaliando os resultados da correlação nas diferentes estratégias de rega, verifica-se que a estratégia RC é a que apresenta melhor correlação (0,8), indicando que aproximadamente 80% da variação do Kcb_real é explicado pelo NDVI. No entanto as outras estratégias também apresentam uma forte correlação (0,7).

4.6.Registo da dotação de rega

A monitorização dos teores de água no solo permitiu definir o momento de início da rega. Esta teve início quando o teor de humidade no solo desceu 30% em relação ao valor da capacidade de campo do solo (DOY 181 e 210 no ano de 2020 e 2021, respetivamente). O número total de horas de rega diárias variou com a estratégia de rega adotada, aplicando-se 4 horas para a rega deficitária (RD) e 8 horas para a rega completa (RC) (Quadro 4.8).

Quadro 4.8 -Dotação de rega e respetiva duração nas diferentes datas, nas estratégias RC e RD.

Data	DOY	Estratégia de rega	Dotações de rega (mm)	Tempo (h)
2020				
29/06/2020	181	RD	5,32	4
30/06/2020	182	RC	10,64	8
01/07/2020	183	RD	5,32	4
02/07/2020	184	RC	10,64	8
03/07/2020	185	RD	5,32	4
04/07/2020	186	RC	10,64	8
06/07/2020	188	RD	5,32	4
07/07/2020	189	RC	10,64	8
08/07/2020	190	RD	5,32	4
09/07/2020	191	RC	10,64	8
10/07/2020	192	RD	5,32	4
11/07/2020	193	RC	10,64	8
13/07/2020	195	RC	10,64	8
14/07/2020	196	RD	5,32	4
17/07/2020	199	RD	5,32	4
20/07/2020	202	RD	5,32	4
21/07/2020	203	RC	9,31	7
27/07/2020	209	RD	5,32	4
28/07/2020	210	RC	9,31	7
06/08/2020	219	RD	5,32	4
07/08/2020	220	RC	10,64	8
11/08/2020	224	RD	5,32	4
12/08/2020	225	RC	10,64	8
2021				
29/07/2021	210	RC	7,98	6
12/08/2021	224	RD	5,32	4
13/08/2021	225	RC	10,64	8
26/08/2021	238	RC	10,64	8
27/08/2021	239	RD	5,32	4
31/08/2021	243	RC	10,64	8

4.7. Parâmetros produtivos

Entende-se como parâmetros produtivos o resultado de produção por planta, ou seja, o peso médio dos cachos, o número médio de cachos, o peso médio por 100 vagos, a produção média por videira e a produção média por hectare à vindima. Para calcular a

produtividade obtida, após terem sido colhidos, os cachos provenientes de cada planta nas diferentes estratégias, foram pesados numa balança de forma a calcular e comparar a produtividade obtida em cada uma das estratégias. A vindima realizou-se no dia 9 de setembro em 2020 e no dia 7 de setembro em 2021.

- Número médio de cachos

No ano de 2020 a estratégia com maior número médio de cachos por videira foi a RD, com 62, e a menos produtiva a RC, com 51. No entanto no ano de 2021 o resultado inverteu-se, ou seja, a estratégia RD teve um menor número médio de cachos por planta, com 14, enquanto a RC teve 19, igualando com a estratégia SR (Figura 4.15 e Quadro 4.9). Houve uma grande variação entre o ano de 2020 e 2021, sendo o último muito menos produtivo. No entanto não se verifica diferenças significativas entre as diferentes estratégias nos dois anos avaliados.

Segundo o balanço da produção de vinho publicado pela CVRVV (2022), na campanha 2021/2022 houve uma redução na produção de vinho branco, no concelho de Ponte de Lima, comparativamente à campanha de 2020/2021.

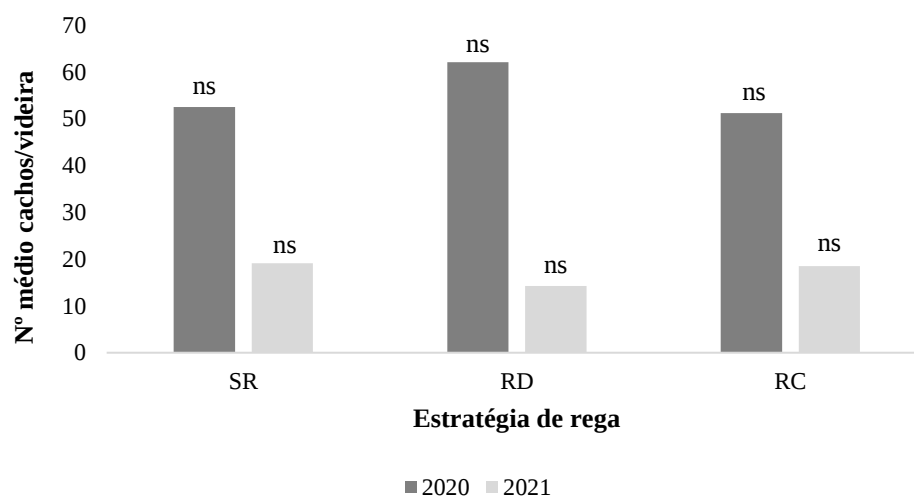


Figura 4.15 - Número médio de cachos por videira, em cada estratégia de rega, no ano de 2020 e 2021. Nível de significância: n.s.

- Peso médio dos cachos

Quanto ao peso médio do cacho, no ano de 2020 o peso médio foi igual em todas as estratégias (aproximadamente 0,23 kg). No ano de 2021 o mesmo não se verifica, visto que todas as estratégias apresentam pesos diferentes, sendo a RC a que apresentou os

cachos mais pesados, com 0,22 kg. Por outro lado, RD produziu os cachos mais leves, pesando em média 0,19 kg (Quadro 4.9).

- Produção média por videira (kg)

Na vindima, para além da contagem do número de cachos por videira, também se procedeu à pesagem total de cachos produzidos. Esta componente é de extrema importância, pois irá representar a capacidade produtiva das cepas e desta forma permite determinar qual a influência das diferentes estratégias de rega na produtividade.

Este parâmetro à semelhança com os parâmetros anteriormente descritos, foi inferior em todas as estratégias no ano de 2021 comparativamente com o ano de 2020.

Como se pode verificar no Quadro 4.9, em 2020 a estratégia mais produtiva foi a RD e no oposto, a estratégia cujas videiras foram menos produtivas foi a RC. Relativamente ao ano de 2021, verifica-se o oposto, sendo a estratégia RC a mais produtiva e a RD a menos produtiva. Isso pode dever-se ao facto de no ano de 2021 a rega só ter iniciado quando os bagos já se encontravam desenvolvidos, ao contrário do ano anterior em que esta teve início durante o crescimento dos bagos, e em contrapartida no ano de 2021 na estratégia RD só regou duas vezes (12 e 27 de agosto), enquanto na RC este procedimento ocorreu quatro vezes (29 de julho; 13, 26 e 31 de agosto).

Para além disso, a estratégia RC encontrar-se localizada numa cota mais baixa, e por isso é um local de retenção de água recebendo água do escoamento superficial.

Contudo os resultados não apresentaram diferenças significativas entre as diferentes estratégias de rega (Figura 4.16).

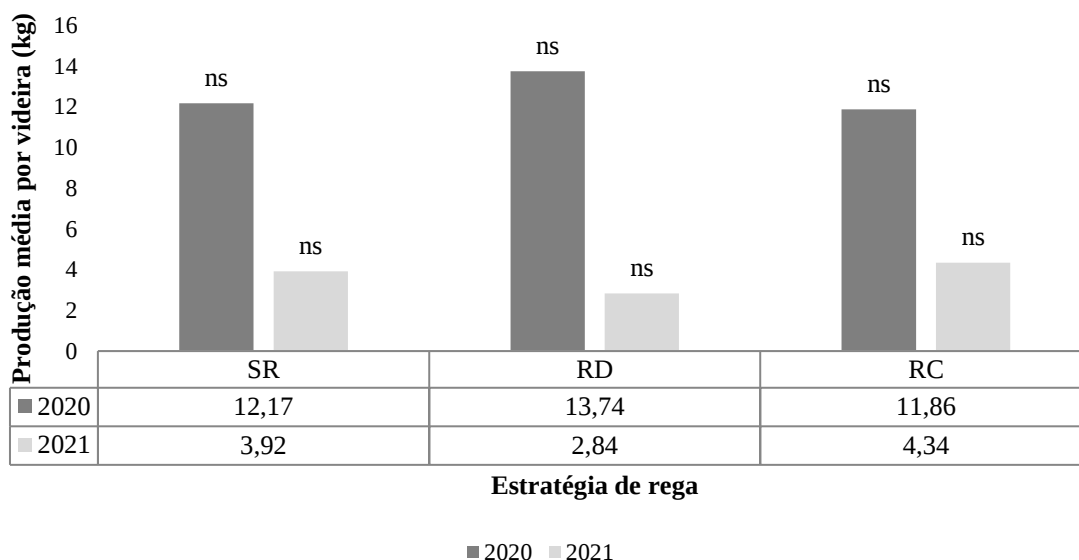


Figura 4.16 - Gráfico da produção média por videira, de acordo com a estratégia de rega, no ano de 2020 e 2021. Nível de significância: n.s.

Quadro 4.9 - Parâmetros produtivos nas diferentes estratégias de rega (SR, RD e RC), no ano de 2020 e 2021.

Parâmetros	Estratégias		
	SR	RD	RC
2020			
Nº médio de cachos/videira	53	62	51
Peso médio/cacho (kg)	0,231	0,225	0,229
Peso médio por 100 bagos (kg)	0,181	0,163	0,191
Produção média (t/ha)	20,28	22,89	19,77
2021			
Nº médio de cachos/videira	19	14	19
Peso médio/cacho (kg)	0,196	0,193	0,217
Peso médio por 100 bagos (kg)	0,208	0,204	0,192
Produção média (t/ha)	6,52	4,72	7,22

5. CONCLUSÃO

Com as alterações climáticas torna-se necessário cada vez mais regar a vinha, tendo em conta que a utilização da água deve considerar as condições ambientais e culturais, para um uso mais correto e eficiente da mesma.

Verifica-se que o teor de humidade no solo é muito próximo nas três estratégias de rega até o estado fenológico do bago de ervilha (DOY 184) no ano de 2020, enquanto no ano de 2021 permanece mais próximo até ao DOY 210, podendo dever-se ao facto do início da rega ter sido mais tardio. A partir dessa data o teor de humidade no solo é superior na RC, com uma exceção no ano 2020, devido a uma avaria no sector dessa estratégia, o que provocou uma brusca diminuição do teor de água (entre o DOY 196 e 202). No momento da vindima os valores são próximos em todas as estratégias.

O potencial hídrico do ramo varia com o teor de água no solo e com as condições climáticas, em todas as estratégias, visto que no ano 2020, durante o período em que as bombas estiveram avariadas (entre o DOY 196 e 209), o stress hídrico aumentou, e este diminuiu entre o DOY 219 e 241 devido à ocorrência de precipitação. Também se verificou que, tendo sido o ano de 2020 mais quente do que 2021, sendo caracterizado como muito quente e seco, verificou-se que as plantas sofreram mais stress hídrico. Neste sentido o teor de água no solo relaciona-se com o stress hídrico foliar, tendo sido também verificado por outros autores em castas como Godello e Mencía. (Cancela *et al.*, 2015).

Relativamente à influência da rega nos parâmetros produtivos, houve variações de um ano para o outro, em que em 2020 a RC foi a menos produtiva (19,77 t/ha), e a RD a que apresenta melhores resultados (22,89 t/ha). Em 2021 aos registos inverteram-se, ou seja, a RD é a estratégia que apresenta piores resultados (4,72 t/ha), mas não foram significativos, e a RC é a estratégia com maior produtividade (7,22 t/ha). Isto pode dever-se ao facto de a rega só ter iniciado quando os bagos já se encontravam desenvolvidos, ao contrário do ano anterior em que esta teve início durante o crescimento dos bagos. Segundo Figueira *et al.* (2022) a rega deficitária contribui para maximizar a produção comparativamente com outras estratégias de rega, tendo assim influência no peso dos cachos e na produtividade por hectare.

Quanto à comparação do balanço hídrico do solo e os índices de vegetação, quando analisado as datas mais próximas, visto que os mesmo não foram sempre determinados em dias coincidentes, verifica-se uma relação entre eles. No ano 2020 há um aumento do

índice entre o dia 7 e 20 de agosto, e uma diminuição entre o dia 20 e 27 de agosto, verificando-se o mesmo no teor de água no solo. Em 2021 o índice de vegetação apresenta uma diminuição entre o dia 16 de julho e 12 de agosto, observando-se no teor de água no solo uma diminuição entre o dia 13 de julho e 12 de agosto.

Para chegar a uma conclusão mais sólida relativamente a esta metodologia, apesar de o R^2 ter uma correlação forte, forçando a origem, dever-se-ia obter dados numa fase mais inicial do estado fenológico e até ao início da queda das folhas, para o intervalo de dados ser mais abrangente, permitindo uma maior correlação e assim ser mais viável a validação, ou não deste método.

Para além disso, dever-se-ia aplicar esta metodologia nas imagens de VANT, em maior número do que as que foram obtidas para este estudo, uma vez que estas têm um tamanho de pixel muito inferior, comparativamente com as imagens de satélite, e por isso a precisão dos dados em princípio seriam mais concretos, permitindo calcular o NDVI a um nível muito detalhado. Além disso, mesmo em dias com nebulosidade, é possível obter imagens da vegetação com o VANT, o que não acontece com as obtidas através de satélite. Por outro lado, a aquisição das imagens de VANT, poderiam ser obtidas no mesmo dia que fosse registado o balanço hídrico do solo, e desta forma a comparação dos dados seria mais coeso, visto que as datas iriam ser as mesmas para a determinação dos diferentes parâmetros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. e Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper*, FAO (56), 300 pp.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D. e Wright, J.L., 2005. FAO-56 Dual Crop Coefficient Method for Estimating Evaporation from Soil and Application Extensions. *J Irrig. Drain. Engng.* 131: 2-13.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Howell, T.A., Jensen, M.E., 2011. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agriculture Water Management*, 98(6), 899-920.
- Alonso, J., 2008. *As Condições Naturais e o Território de Ponte de Lima*. Município de Ponte de Lima, 327 pp.
- Andreoli, V., Cassardo, C., La Iacona, T. e Spanna, F., 2019. Description and preliminary simulations with the Italian Vineyard Integrated Numerical Model for estimating physiological values (IVINE). *Agronomy*, 9, 94.
- Azevedo, P. V., Soares, J. M., Silva, V., Silva, B. B. e Nascimento, T., 2008. Evapotranspiration of “Superior” grapevines under intermittent irrigation. *Agriculture Water Management*, 95, 301–308.
- Basile, B., Marsal, J., Mata, M., Vallverdú, X., Bellvert, J. e Girona, J., 2011. Phenological sensitivity of Cabernet Sauvignon to water stress: vine physiology and berry composition. *American Journal Enology and Viticulture*, 62, 452– 461.
- Bausch, W.C. e Neale, C.M.U., 1987. Crop coefficients derived from reflected canopy radiation: a concept. *Transactions of the ASAE*, 30, 703-709 pp.
- Bellvert, J., Marsal, J., Girona, J., Gonzalex-Dugo, V., Fereres, E., Ustin, S. e Zarco-Tejada, P. J., 2016. Airborne thermal imagery to detect the seasonal evolution of crop water status in peach, nectarine and Saturn peach orchards. *Remote Sens*, 17 pp.
- Bhagat, V. S., Kadam, A., Kumar, S., 2019. *Analysis of Remote Sensing based Vegetation Indices (VIs) for Unmanned Aerial System (UAS): A Review*. *Remote Sensing of Land*, 58-73 pp.
- Blanco-Pérez, R., Sáenz-Romo, M. G., Vicente-Díez, I., Ibáñez-Pascual, S., Martínez-Villar, E., Marco-Mancebón, V. S., ... & Campos-Herrera, R. (2020). Impact of vineyard ground cover management on the occurrence and activity of entomopathogenic nematodes and associated soil organisms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107028.
- Bock, A., Sparks, T., Estrella, N. e Menzel, A., 2011. Changes in the phenology and composition of wine from Franconia, Germany. *Climate Research*, 50, 69–81.
- Boratto, I. M. e Gomide, R. L., 2013. *Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais*. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, SBSR, Brasil, 8 pp.

- Braga, R., 2009. *Viticultura de Precisão: Um caso particular de Agricultura de Precisão*. In: R. Braga, *Viticultura de Precisão*, Associação dos Jovens Agricultores de Portugal. pp. 3-22.
- Cabral, I. L., 2017. *Influência de diferentes dotações de rega sobre o rendimento e qualidade na casta Touriga Franca na região do Douro*. Tese de Mestrado em Engenharia Agronómica, Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 221 pp.
- Cancela, J. J., Fandino, M., Rey, B. J., Rosa, R. e Pereira, L. S., 2012. Estimating transpiration and soil evaporation of vineyards from the fraction of ground cover and crop height—application to ‘Albarino’ vineyards of Galicia. *Acta Horticulturae*, 931, 227–234.
- Cancela, J. J., Fandiño, M., Rey, B. J. e Martínez, E. M., 2015. Automatic irrigation system based on dual crop coefficient, soil and plant water status for *Vitis vinifera* (cv Godello and cv Mencía). *Agricultural Water Management*, 151, 52-63.
- Calderón, R., Navas-Cortés, J., Lucena, C. e Zarco-Tejada, P., 2012. *High-resolution airborne hyperspectral and thermal imagery for early detection of Verticillium wilt of olive using fluorescence, temperature and narrow-band spectral indices*. Remote Sensing of Environment.
- Chauvet, M. e Reynier, A., 1979. *Manual de Viticultura*. Biblioteca Agrícola Litexa, 304 pp.
- Chavarria, G., Santos, H. P., Felippeto, J., Marodin, G. A. B., Bergamaschi, H., Cardoso, L. S. e Fialho, F. B., 2008. Relações hídricas e trocas gasosas em vinhedo sob cobertura plástica. *Jaboticabal*, 4, 30, 1022-1029.
- Chaves, M. M., Pereira, J. S., Maroco, J., Rodrigues, M. L., Ricardo, C. P. P., Osório, M. L., Carvalho, I., Faria, T. e Pinheiro, C., 2002. *How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth*. *Annals of Botany* 89, 907-916.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P. e Pereira, J.S., 2003. Understanding plant response to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30, 239-264.
- Chaves, M.M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J.M., Santos, T., Regalado, A.P., Rodrigues, M.L. e Lopes, C.M., 2010. Grapevine under deficit irrigation: hints from physiological and molecular data. *Annals of Botany*, 105, 661–676.
- Choné, X., Leeuwen, C., Dubourdieu, D. e Gaudillères, J. P., 2001. Stem Water Potential is a Sensitive Indicator of Grapevine Water Status. *Annals of Botany*, 87, 23 fev., 7.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J.M., Medrano, H., Flexas, J., 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (*Vitis vinífera* L.). *An open gate to improve water-use efficiency? Agriculture, Ecosystems and Environment*, 106, 159–170.
- Climaco, P., Silva, J. R., Laureano, O., Castro, R. e Tonietto, J., 2012. *O Clima Vitícola das Principais Regiões Produtoras de Uvas para Vinho de Portugal*, 43 pp.
- Coelho, A. M., 2005. *Potencial de utilização das técnicas de agricultura de precisão na recuperação da fertilidade dos solos sob pastagens de gradadas*. Proceedings of 3º Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão, Embrapa Milho e Sorgo (ed.), Sete Lagoas, Brasil.

- Coelho, J., Silva, L., Pinheiro, A., Tristany, M. e Neto, M., 2009. *Agricultura de Precisão*. In: J. Coelho, J. Silva, *Agricultura de Precisão*, Associação dos Jovens Agricultores de Portugal. pp. 2-33.
- Coombe, B., 1995. Growth Stages of the Grapevine: Adoption of a system for identifying grapevine growth stages. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 1, 100-110.
- Coops, N. e Tooke, T., 2017. *Introduction to Remote Sensing*. In: S., Gergel, M., Turner, *Learning Landscape Ecology*, Springer, pp. 3-19
- CVRVV, 2018. Região Demarcada. Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes. Site disponível: Vinho Verde, URL: <https://www.vinhoverde.pt/pt/regiao-demarcada>. Consultado em 20 nov. 2022.
- CVRVV, 2019. Características sensoriais dos monovarietais das castas Loureiro, Alvarinho e Arinto. Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes. Site disponível: Vinho Verde, URL: <https://viticultura.vinhoverde.pt/pt/noticias/Bons-Vinho-ed2-agostocaracteristicas-sensoriais-dos-monovarietais-das-castas-loureiro-alvarinho-e-arinto#!>. Consultado em 22 abr. 2022.
- CVRVV, 2020. Estatísticas. Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes Site disponível: Vinho Verde, URL: <https://www.vinhoverde.pt/pt/regiao-demarcada>. Consultado em 22 nov. 2021.
- CVRVV, 2023. Estatísticas. Comissão de Viticultura da Região dos Vinhos Verdes Site disponível: Vinho Verde, URL: <https://www.vinhoverde.pt/pt/estatisticas#!>. Consultado em 12 ago. 2023.
- Duarte, A. C., 2018. *Guia boas práticas para o uso eficiente da água*. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, 52 pp.
- Duchemin, B., Hadria, R., Er-Raki, S., Boulet, G., Maisongrande, P., Chehbouni, A., Escadafal, R., Ezzahar, J., Hoedjes, J.C.B., Kharrou, M.H., Khabba, S., Mougenot, B., Olioso, A., Rodriguez, J.C. e Simonneaux, V., 2006. Monitoring wheat phenology and irrigation in Central Morocco: on the use of relationships between evapotranspiration, crops coefficients, leaf area index and remotely sensed vegetation indices. *Agriculture Water Management*, 79, 1-27 pp.
- Erena, M., López-Francos, A., Montesinos, S. e Berthoumieu, J. F., 2012. *The use of remote sensing and geographic information systems for irrigation management in Southwest Europe*. Zaragoza, Spain, Vol. 67, 239 pp.
- Fandiño, M., Cancela, J. J., Rey, B.J., Martínez, E.M., Rosa, R.G. e Pereira, L.S., 2012. Using the dual-K c approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agriculture Water Management*, 112, 75–87 pp.
- Farahani, H.J., Howell, T.A., Shuttleworth, W.J. e Bausch, W.C., 2007. Evapotranspiration: progress in measurement and modeling in agriculture. *Trans. ASABE* 50 (5), 1627–1638.
- Feijó, R., e Cardoso, A., 1990. *Os Vinhos Verdes*. Enciclopédia dos Vinhos de Portugal, Ed. Chaves Ferreira, Lisboa, 135 pp.
- Figueira, R., Saraiva, A., Saraiva, R., Neves, T., Carvalho, G. e Oliveira, M., 2022. *Diferentes modalidades de rega na vinha e a sua influência no stress hídrico da*

videira. Livro de resumos do IV Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias, 3 e 4 de novembro, Instituto Politécnico de Santarém - Escola Superior Agrária, 56.

- Flexas, J., Escalona, J. M. e Medrano, H., 2002. Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology*, 26, 5, 421-433.
- Fooladmand, H. R. e Sepaskhah, A. R., 2009. A soil water balance model for a rain-fed vineyard in a micro catchment based on dual crop coefficient. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 55, 67-77.
- Fraga, H., Malheiro, A.C., Moutinho-Pereira, J. e Santos, J.A., 2012. An overview of climate change impacts on Europe viticulture. *Food and Energy Security*, 1 (2), 94 – 110.
- Fraga, H. Malheiro, A. C., Pereira, J. M., Jones, G. V., Alves, F., Pinto, J. G. e Santos, J. A., 2013. Very high-resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: present and future scenarios. *Reg Environ Change*, 6 jun., 12.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J. e Santos, J. A., 2014. Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agricultural and Forest Meteorology*, 185, 26-36.
- Fraga H., Atauri I., Malheiro A., Pereira J. e Santos J., 2016. Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections. *Clim Wine international conference held in Bordeaux*, 11-13.
- Fraga, H., Atauri, I. G. D., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J. e Santos, J. A., 2017. Viticulture in Portugal: A review of recent trends and climate change projections, *OENO One*, 51, 61-69.
- French, A. N., Hunsaker, D. J., Sanchez, C. A., Saber, M., Gonzalez, J. R. e Anderson, R., 2020. Satellite-based NDVI crop coefficients and evapotranspiration with eddy covariance validation for multiple durum wheat fields in the US Southwest. *Agriculture Water Management*, 239, 106266.
- Gandhi, M., Parthiban, S., Nagaraj T. e Christy. A., 2015. *NDVI: Vegetation change detection using remote sensing and gis - A case study of Vellore District*. 3rd International Conference on Recent Trends in Computing 2015, *ScienceDirect*, 13 pp.
- Garcia, L., Celette, F., Gary, C., Ripoché, A., Valdés-Gómez, H., Metay, A., 2018. Management of service crops for the provision of ecosystem services in vineyards: A review. *Agriculture Ecosystem Environment*, 251, 158-170 pp.
- Gattullo, C. E., Mezzapesa, G. N., Stellacci, A. M., Ferrara, G., Occhiogrosso, G., Petrelli, G., Castellini, M. e Spagnuolo, M., 2020. Cover crop for a sustainable viticulture: Effects on soil properties and table grape production. *Agronomy*, 10, 1334.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., del Campo, J. e Basile, B., 2009. Phenological sensitivity to berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress. *Australian Journal of Grape Wine Research*, 15, 268-277.
- Gladstones, J., 2011. *Wine, Terroir and Climate Change*; Wakefield Press: Cambridge, MA, USA.

- Glenn, E. P., Neale, C. M. U., Hunsaker, D.J. e Nagler, P. L., 2011. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes*, 25, 4050-4062pp.
- GPP, 2021. *A Vinha e o Vinho*. Gabinete de Planeamento e Políticas de Administração Geral. Cultivar, Cadernos de Análise e Prospetiva, Ed. Nº 24, 36 pp.
- Govender, M., Dye, P. J., Weiersbye, I. M., Witkowski, E. T. F. e Ahmed, F., 2009. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. *Water SA*, 35 (5), 741 – 752.
- Gois, N. M. S., 2015. *Modelação fenológica da videira (Vitis vinífera L.). Integração bioclimática, genética e adaptação espaço temporal*. Tese de Mestrado em Engenharia Agronómica, Departamento de Gestão e Ordenamento do Território, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, 103 pp.
- Grant, O., Tronina, L., Jones, H. G. e Chaves, M. M., 2007. Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. Imaging stress responses in plants special issue. *Journal of Experimental Botany*, 4, 58, 815-825.
- Gris, E. F., Burin, V. M., Brighenti, E., Vieira, H. e Bordignon-Luiz, M. T., 2010. Phenology and ripening of *Vitis vinifera* L. grape varieties in São Joaquim, southern Brazil: A new South American wine growing region. *Ciencia Investigación Agraria*, 37, 61–75.
- Hidalgo, L., 1999. *Tratado de Viticultura General*. Ediciones Mundi-Prensa, 2ª ed., Madrid.
- Huang, Y., Lee, M. A., Thomson, S. J. e Reddy, K.N., 2016. Ground-based hyperspectral remote sensing for weed management in crop production. *Internacional Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 9 (2), 98 – 109.
- Huglin, P. e Schneider, C., 1998. *Biologie et écologie de la vigne*. Technique e Documentation, Paris, 307 pp.
- Hunsaker, D. J., Fitzgerald, G.J., French A.N., Clarke T.R., Ottman, M.J. e Pinter, P.J., 2007. Wheat irrigation management using multispectral crop coefficients: I. Crop evapotranspiration prediction. *Transactions ASABE*, 50, 2017-2033 pp.
- Inês, D. M. Z. M., 2011. *A fitomonitorização como ferramenta no estudo do impacto das alterações climáticas em viticultura*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 96 pp.
- Infovini, 2009. Vinhos Verdes. Site disponível: Infovini, URL: <http://www.infovini.com/pagina.php?codNode=3889>. Consultado em 29 jul. 2022.
- IPMA, 2021. *Boletim Climático Globo e Europa Portugal 2020*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., 28 pp.
- IPMA, 2022. *Boletim Anual Resumo 2021*. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, I.P., 14 pp.
- IVV, 2011. *Catálogo das Castas para Vinho Cultivadas em Portugal*. Coordenação de Rolando Faustino, Coordenação Técnico-científica Rogério de Castro, Volume 1, 1ª Edição, Chaves Ferreira, Lisboa.

- IVV, 2016. *Regiões*. Site disponível: Instituto da Vinha e do Vinho (Última atualização: 09 abr. 2018), URL: <https://www.ivv.gov.pt/np4/regioes/>. Consultado em 22 nov. 2021.
- IVV, 2022. *Vinha*. Site disponível: Instituto da Vinha e do Vinho, URL: <https://www.ivv.gov.pt/np4/35/>. Consultado em 22 abr. 2022.
- JACKSON, R. D., JACKSON, S. B., IDSO, R. J., REGINATO, P. J. e PINTER J. R., 1980. Remotely sensed crop temperatures and reflectances as inputs to irrigation scheduling. *Irrigation and Drainage Special Conference Proceedings*, ASCE, Boise, N. Y., USA (1980), pp. 390–397.
- Jensen, M. E. e Allen, R.G., 2016. Evaporation, Evapotranspiration, and Irrigation Water Requirements. *ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice*, 70, 2nd edition. Reston, Virginia, 744pp.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G. e Zhang, X., 2006. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101, 366 – 378.
- Jones, G.V. e Davis, R. E., 2000. Climate influences on grapevine phenology, grape composition, and Wine production and quality for Bordeaux, France. *American Journal of Enology Viticulture*, 51, 249.
- Jones, G.V., 2007. Climate change: Observations, projections, and general implications for viticulture and wine production. *Economics Department Working, Paper*, 7, 14.
- Jones, G., 2013. *Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro: Uma análise das condições climáticas do passado, presente e futuro para a produção de vinho*. Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense, 110 pp.
- Jones, G., 2015. *Climate, Grapes and Wine*. Guild Somm, 13 pp.
- Jones, G.V., White, M.A., Cooper, O. R. e Storchmann, K., 2005. Climate Change and Global Wine Quality. *Climatic Change*, 73, 319 – 343.
- Jordão, A. M., Silva, R. J. M. e Laureano, O., 1998. Influência da rega na composição fenólica das uvas tintas da casta Touriga Francesa (*Vitis vinífera* L.). *Ciência e Tecnologia Alimentar*, 2, 2, 60-73.
- Kamble, B., Kilic, A. e Hubbard, K., 2013. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, 5, 1588–1602.
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B. e Rubel F., 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15, 259–263.
- Kriedemann, P., 1968. Photosynthesis in vine leaves as a function of light intensity, temperature and leaf age. *Vitis*, 7, 213-220.
- Laget, F., Tondut, J. L., Deloire, A. e Kelly, M. T., 2008. Climate trends in a specific mediterranean viticultural area between 1950 and 2006. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, jul., 12.
- Lampinen, B. D., Shackel, K. A., Southwick, S. M., Olson, W. H. e Dejong, T. M., 2004. Leaf and canopy level photosynthetic responses of French prune (*Prunus domestica* L. ‘French’) to stem water potential based on deWcit irrigation. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 79, 638-644.

- Lopes, C. M., Santos, T. P., Monteiro, A., Rodrigues, M. L., Costa, J. M. e Chaves, M. M., 2011. Combining cover cropping with deficit irrigation in a Mediterranean low vigor vineyard. *Science Horticulture*, 129, 603–612 pp.
- Lorenzo, M., Taboada, J., Lorenzo, J. e Ramos, A., 2013. *Influence of climate on grape production and wine quality in the Rías Baixas, north-western Spain*. Regional Environmental Change, 13, 887-896.
- Magalhães, N., 2008. *A videira, a vinha e o Terroir*. Tratado de Viticultura, Chaves Ferreira Publicações, S.A. ISBN: 978-972-8987-15-2.
- Magalhães, N. P. C., 2015. *Tratado de viticultura: a videira, a vinha e o “terroir”*. Esfera Poética, 2ª Ed., Lisboa, 607 pp.
- Matese, A. e Gennaro, S., 2015. Technology in precision viticulture: a state of the art review. Italy: *International Journal of Wine*, 69-81.
- Medrano, H., Tomás, M., Matorell, S., Escalona, J-M., Pou, A., Fuentes, S., Flexas, J. e Bota, J., 2015. Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions – A review. *Agron. Sustain. Dev.*, 35, 499 – 517.
- Moratiel, R. e Martinez-Cob, A., 2012. Evapotranspiration of grapevine trained to a gable trellis system under netting and black plastic mulching. *Irrigation Science*, 30, 167–178.
- Moriondo, M., Jones, G. V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G. e Bindi, M., 2013. Projected shifts of wine regions in response to climate change. *Climatic Change*, 119, 825–839.
- Moriondo, M., Ferrise, R., Trombi, G., Brilli, L., Dibari, C. e Bindi, M., 2015. Modelling olive trees and grapevines in a changing climate. *Environmental Modelling & Software*, 72, 387–401.
- Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J. e Marshak, A. L., 1995. *The interpretation of spectral vegetation indexes*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 33(2), 481–486 pp.
- NEALE, C. M., BAUSCH, W. C. e HEERMAN, D. F., 1989. Development of reflectance-based crop coefficients for corn. *Transactions of the ASAE*, 32(6): 1891-1899.
- Netzer, Y., Yao, C., Shenker, M., Bravdo, B. A. e Schwartz, A., 2009. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*, 25, 161–170.
- Naor, 2010. Irrigation Scheduling and Evaluation of Tree Water Status in Deciduous Orchards. *Horticultural Reviews*, 32, 111-165.
- OIV, 2021. *State of the world vitivinicultural sector in 2020*. International Organisation of Vine and Wine Intergovernmental Organisation, 19 pp.
- Oliveira, L. E. M., s/d. *Determinação do estado hídrico em tecidos vegetais (teor de água, teor relativo de água e potencial hídrico)*. Setor Fisiologia Vegetal do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, 6 pp.
- Oliveira, I., 2011. Técnicas de regadio. Isaurindo Oliveira, 2ª Ed., Vol. 1, 834 pp.
- Paço, T. A., Paredes, P., Pereira, L. S., Silvestre, J. e Santos, F. L., 2019. Crop coefficient s and transpiration of a super intensive Arbequinaoliveorchardusing the dual Kc

- approach and the Kcb computation with the fraction of ground cover and height. *Water*, 11, 383 pp.
- Paredes, P., Pereira, L. S., Almorox, J. e Darouich, H., 2020. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. *Agricultural Water Management*, 240, 1-23 pp.
- Pereira, L.S., 2017. Water, agriculture and food: challenges and issues. *Water Resour. Manage.* 31, 2985-2999.
- Pereira, L.S., Cordery, I., Iacovides, I., 2009. Coping With Water Scarcity. *Addressing the Challenges*. Springer, Dordrecht, 382 pp.
- Poni, S., Lakso, A., Turner, J. E Melious, R., 1994. Interactions of Crop Level and Late Season Water Stress on Growth and Physiology of Field-Grown Concord Grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 45, 252-258.
- PORDATA, 2020. *Clima*. Site disponível: PORDATA estatística sobre Portugal e Europa (Última atualização: 21 mar. 2022), URL: <https://www.pordata.pt/Pesquisa/CLIMA>. Consultado em 01 jun. 2022.
- Portela, F. T., 2021. *Avaliação do uso da termografia aérea para o cálculo do índice de stress hídrico na cultura da vitisvinífera l. Cv. Loureiro*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agronómica, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 130 pp.
- Pou, A., Gulías, J., Moreno, M., Tomás, M., Medrano, H. e Cifre, J., 2011. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. *Irrigation Science*, 45, 223-234 pp.
- Raes, 2017. D. *Book I: Understanding Aqua Crop*. FAO: Rome, Italy, ISBN 9789251093900.
- Ramos, M. C. e Martínez-Casasnovas, J.A. 2006. Impact of land levelling on soil moisture and run off variability in vineyards under different rainfall distributions in a Mediterranean climate and its influence on crop productivity. *Journal of Hydrology*, 1-4, 321, 131-146.
- Reis, S., Fraga, H., Carlos, C., Silvestre, J., Eiras-Dias, J., Rodrigues, P. e Santos, J. A., 2020. Grapevine Phenology in Four Portuguese Wine Regions: Modeling and Predictions. *Applied Sciences*, 10, 11.
- Rodrigues, P., 2011. *Influência do regime hídrico e da rega no comportamento da casta Touriga Nacional na região do Dão*. Tese de Doutoramento em Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 304 pp.
- Rodriguez, J. C., Grageda, J., Watts, C. J., Garatuza-Payan, J., Castellanos-Villegas, A., Rodríguez-Casas, J., Saiz-Hernandez, J. e Olavarrieta, V., 2010. Water use by perennial crops in the lower Sonora watershed. *Journal of Arid Environments*, 74, 603-610.
- Romero, P., Fernández-Fernández, J. I. e Martínez-Cutillas, A., 2010. Physiological thresholds for efficient regulated deficit-irrigation management in winegrapes grown under semiarid conditions. *Am J Enol Vitic*, 61, 300 – 312.

- Rolim, J., Godinho, P., Sequeira, B., Paredes, P. e Pereira, L. S., 2007. Assessing the SIMDualKc model for irrigation scheduling simulation in Mediterranean environments. *Water Save in Mediterranean Agriculture and Future Research Needs*, 1, 49–61 pp.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Fernando, R. M., Alves, I., Pereira, L. S. e Allen, R. G., 2012. Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 2. Model testing. *Agriculture Water Management*, 103, 62–77 pp.
- Ruml, M. e Vulic, T., 2005. Importance of phenological observations and predictions in agriculture. *Journal of Agricultural Sciences Belgrade*, 50, 217–225.
- Santesteban, L. G., Miranda, C., Marín, D., Sesma, B., Intrigliolo, D. S., Mirás-Avalos, J. M., Romero, P. (2019). *Discrimination ability of leaf and stem water potential at different times of the day through a meta-analysis in grapevine (Vitis vinifera L.)*. *Agricultural Water Management*, 221, 202-210.
- Saraiva, a., Rodrigues, G., Silvestre, J., Feliciano, M., Silva, P. O. E Oliveira, M., 2020.vA pegada hídrica na fileira vitivinícola portuguesa. *Rega*, 35, 68-70.
- Schwartz, M. D., 2003. *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Edited by Mark D. Schwartz. Kluwer Academic Publishers, 331-343.
- Serra, I., Strever, A., Myburgh, P.A. e Deloire, A., 2014. Review: the interaction between rootstocks and cultivars (*Vitis vinifera* L.) to enhance drought tolerance in grapevine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 20, 1 – 14.
- Serrano, L., González-Flor, C. e Gorchs, G., 2010. Assessing vineyard water status using the reflectance based Water Index. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139, 490 – 499.
- Silva, L. L., Silva, J. R. M., Sousa, A. e Terrón, J. M., 2013. Utilização de índices de vegetação para a gestão da vinha. *Revista Riteca*, 9 -12.
- Silva, S. P., Valín, M. I., Mendes, S., Paredes, C. A. e Cancela, J. J., 2021. Dual Crop Coefficient Approach in *Vitis vinifera* L. cv. Loureiro. *Agronomy*, 11, 2062.
- Simonneau, T., Bebon, E., Coupel-Ledru, A., Marguerit, E., Rossdeutsch, L. e Ollat, N., 2017. *Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status?* *OENO One*, 51, 2, 167 – 179.
- Sivcev, B., Sivcev, I. e Rankovic-Vasic, Z., 2010. Plant protection products in organic grapevine growing. *Journal Agriculture Science, Belgrade*, 55,103–122 pp.
- Sousa, S. M. M., 2019. *Estudo de Variantes do Sistema de Condução LYS na Região dos Vinhos Verdes*. Dissertação de Mestrado em Viticultura e Enologia, Universidade de Ciências da Faculdade do Porto, 131 pp.
- Spano, D., Snyder, R. L., Ducec, P. e Paw, U. K. T., 2000. Estimating sensible and latent heat flux densities from grapevine canopies using surface renewal. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104, 71–183.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., Fereres, E., Raes, D., 2012. *Crop yield response to water, in Irrigation and Drainage Paper*. No. 66, FAO, 505 pp.
- Suvocarev, K., Blanco, O., Faci, J. M., Medina, E. T. e Martínez-Cob, A., 2013. Transpiration of table grape (*Vitis vinifera* L.) trained on an overhead trellis system under netting. *Irrigation Science*, 31, 1289-1302.

- Tardieu, F. e Simonneau, T., 1998. Variability among species of stomatal control under fluctuating soil water status and evaporative demand: modelling isohydric and anisohydric behaviours. *Journal of Experimental Botany*, 49, 419-432.
- Teixeira, A. R. N. e Ricardo, C. P. P., 1983. Fotossíntese. Didáctica Editora, Lisboa, 344 pp.
- Teixeira, A. H. C., Bastiaanssen, W. G. M. e Basso, L. H., 2007. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*, 94, 31-42.
- Trambouze, W., Bertuzzi, P. e Voltz, M., 1998. Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard. *Agricultural and Forest Meteorology*, 91, 193-208.
- Van Leeuwen, C., Friante, P., Choné, X., Tregot, O., Koundouras, S. e Dubourdieu, D., 2004. Influence of Climate, Soil, and Cultivar on Terroir. *American Journal of Enology and Viticulture*, 1 jul., 207-217.
- Van Leeuwen, C., Renouf, V., Payan, J., Trambouze, W., Garnier, C., Agut, C., Garcia-Cortazar, I., Bois, B., Barbeau, G. e Boursiquot, J. M., 2008. *Heat requirements for grapevine varieties is essential information to adapt plant material in a changing climate*. In Proceedings of the VIIth International Terroir Congress, Nyon, Switzerland, 19-23 May, 222-227 pp.
- Van Leeuwen, C., Tregot, O., Choné, X., Bois, B., Pernet, D. e Gaudillère J. P., 2009. Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes? *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 3, 43, 121-134.
- Walthall C., Anderson C., Baumgard L., Takle E. e Wright-Morton L., 2013. *Climate Change and Agriculture in the United States: Effects and Adaptation*. Chapter 5: Climate Change Effects on U.S. Geological and Atmospheric Sciences Reports Agricultural Production, 53-98.
- Wample, R.L., 2001. *Grapevine Water Relations*. 2001 Central Coast Viticulture and Enology Issues Conference, 62 -70.
- Wilkie D. S. e Finn J. T., 1996. Remote Sensing Imagery for Natural Resources Monitoring. A guide for first-time users. Methods and cases in conservation science series. *Geological Magazine*, 136, 2, 213-220.
- Williams, L. E., Dokoozlian, N. K., Wample, R. L., 1994. Grape. In: Shaffer B, Anderson PC (eds) Handbook of environmental physiological of fruit crops. *Temperate crops*, vol 1. CRC Press, Orlando, 83-133.
- Zhang, Y., Kang, S., Li, F., Tong, L. e Du, T., 2010. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 97, 1898-1904.
- Zhang, Y., Kang, S., Ward, E. J., Ding, R., Zhang, X. e Zheng, R., 2011. Evapotranspiration components determined by sap flow and microlysimetry techniques of a vineyard in northwest China: dynamics and influence factors. *Agricultural and Forest Meteorology*, 119, 1207-1214.
- Zufferey, V. e Murisier, F. (2009). Photosynthèse de la vigne (cv. Chasselas) III. Influence du régime hydrique. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture*, 41(5), 309-312.