



Manual de Boas Práticas para o Uso Eficiente da Água de Rega no Olival



Manual de Boas Práticas para o Uso Eficiente da Água de Rega no Olival



Grupo Operacional:

Olivicultura e Azeite: Melhora das práticas de rega e fertilização nas explorações olivícolas em Trás-os-Montes para a sustentabilidade do olival

Operação - 1.0.1 Grupos operacionais

Parceria n.º - 126 / Iniciativa n.º - 281

Manual de Boas Práticas para o Uso Eficiente da Água de Rega no Olival



Grupo operacional Olivicultura e Azeite
Melhoria das práticas de rega e
fertilização nas explorações olivícolas
em Trás-os-Montes para a
sustentabilidade do olival

Líder: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Título	Manual de Boas Práticas para o uso Eficiente da Água de Rega no Olival
Editor	Anabela Afonso Fernandes Silva
Autores	Anabela Afonso Fernandes Silva; António Castro Ribeiro; Arlindo Castro Ferreira Almeida; Manuel João Teles Oliveira
Edição	Junho de 2023
Impressão	Associação dos Produtores de Proteção Integrada de Trás-os-Montes e Alto Douro
ISBN	978-989-704-556-1

<https://sustentolive.utad.pt>

Manual elaborado no âmbito do projeto Grupo Operacional Olivicultura e Azeite com o objetivo ser uma ferramenta de apoio à olivicultura de regadio



PARCERIA

Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Instituto Politécnico de Bragança

Associação dos Produtores de Proteção Integrada de Trás-os-Montes e Alto
Douro

Almira dos Anjos Lopes Robalo Cordeiro

Casa de Vilarelhos Sociedade Agrícola LDA

Manuel Fernando Cunha Vaz Pinto

Manuel António Afonso, Cabeça de Casal da Herança

Sá Morais e Castro LDA

Financiamento

Esta investigação foi financiada pelo “Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER)” e pelo “Estado Português” no contexto da “Ação 1.1 «Grupos Operacionais»”, integrada na “Medida 1. «Inovação» do PDR 2020—Programa de Desenvolvimento Rural do Continente” — Grupo Operacional Olivicultura e Azeite (PDR2020-101-032178).



PROGRAMA DE
DESENVOLVIMENTO
RURAL 2014-2020



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu Agrícola
de Desenvolvimento Rural

A Europa Investe nas Zonas Rurais

Agradecimentos

Desejamos expressar os nossos agradecimentos ao Estado Português no âmbito da Ação 1.1 «Grupos Operacionais», integrada na Medida 1. «Inovação» do PDR 2020 – Programa de Desenvolvimento Rural do Continente e ao Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER), pelo financiamento desta publicação e pelo projeto Grupo Operacional Olivicultura e Azeite que deu origem à mesma. Também queremos agradecer aos agricultores parceiros deste projeto: Almira dos Anjos Lopes Robalo Cordeiro, Casa de Vilarelhos Sociedade Agrícola LDA, Manuel Fernando Cunha Vaz Pinto, Manuel António Afonso, Cabeça de Casal da Herança e Sá Morais e Castro LDA, que gentilmente cederem os seus olivais para a instalação dos campos experimentais e por toda a simpatia demonstrada.

Autores

Anabela Afonso Fernandes Silva

Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas (CITAB), Instituto para a Inovação, Capacitação e Sustentabilidade da Produção Agroalimentar (INOVA4Agro), Escola de Ciências Agrárias e veterinárias, Departamento de Agronomia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801, Vila Real, Portugal

António Castro Ribeiro

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

Arlindo Castro Ferreira Almeida

Centro de Investigação de Montanha (CIMO), Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões de Montanha (SusTEC), Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal

Manuel João Teles Oliveira

Escola de Ciências Agrárias e veterinárias, Departamento de Agronomia, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 5000-801, Vila Real, Portugal

Índice

1.Introdução	13
1.1 Considerações sobre o uso da água na agricultura.....	13
1.2 Caracterização do olival.....	14
1.3 Importância da olivicultura.....	15
2.Evapotranspiração do Olival	17
2. 1. A evapotranspiração.....	18
2.2 Conceitos de evapotranspiração.....	20
2.2.1 A evapotranspiração de referência.....	20
2.2.2 A evapotranspiração cultural (ET _c).....	21
3.Necessidades Hídricas do olival	25
3.1 Introdução	26
3.2. Exigências hídricas.....	28
3.3 Necessidades hídricas para a máxima produção.....	29
3.4 Exemplo de cálculo das necessidades de rega.....	33
3.5 Como se deve regar quando se dispõe de pouca água?	36
3.6 Considerações finais	39
4.Uso eficiente da água de rega no olival	40
4.1. Introdução	41
4.2 Sistemas de rega no olival	41
4.3 Distribuição de água no perfil do solo.....	42
4.4. Indicadores de desempenho dos sistemas de rega.....	44
4.5 Medição de volumes e caudais nos sistemas de rega.....	45
4.6 Exemplos práticos de cálculo.....	46
4.6.1 Coeficiente de uniformidade de caudais (CUC).....	46
4.6.2 Coeficiente de uniformidade de pressões (CUP).....	48
4.7 Considerações finais	49
5.Ferramentas e indicadores para a gestão da rega do oliva	50
5.1 Introdução	51
5.2Gestão da rega com recurso a dados meteorológicos	51
5.3Sensores de medição do teor de água no solo.....	52
5.3.1 Conteúdo de água no solo	56
5.3.2 Sensores de medição da tensão de água no solo	59
5.4Estado hídrico da planta	62
5.4.1 Potencial hídrico foliar.....	64
5.4.2Temperatura do copado	67
5.4.3 Variações no diâmetro do tronco.....	68
5.4.4 Fluxo de seiva	70
5.5 Deteção remota.....	72
5.6 Considerações finais.....	77
6.Estratégias para melhorar o desempenho da colheita mecânica em olivais tradicionais regados	78
6.1 Introdução	79
6.2. Eficiência de colheita.....	79
2.1. Evolução da relação força para a remoção dos frutos/peso dos frutos (FRF/P)	80

Manual de Boas Práticas para o Uso Eficiente da Água de Rega no Olival

6.3. Capacidade de trabalho do equipamento de colheita.....	82
6.4. Considerações finais	86
7. Gestão da rega e qualidade do azeite	87
7.1 Composição do azeite.....	88
7.2 A qualidade do azeite	89
7.3 Estratégias de rega deficitária e qualidade do azeite.....	92
7.4. Considerações finais.....	94
Referências Bibliográficas	95

Índice Figura

Figura 1. O ciclo da água simplificado	18
Figura 2. O processo de evapotranspiração: evaporação + transpiração.....	19
Figura 3 – Parâmetros climáticos e cultura de referência necessários para a avaliar a evapotranspiração de referência (ET_0).....	20
Figura 4. Evapotranspiração de referência (ET_0) e características da cultura contempladas no coeficiente cultural (K_c) para o conhecimento da evapotranspiração de uma cultura (ET_c) em condições ótimas para o seu crescimento, sem restrição hídrica	21
Figura 5 – Variação anual do coeficiente cultural do olival.....	22
Figura 6. Ilustração das componentes da evapotranspiração do olival.....	23
Figura 7. Representação esquemática do ciclo bienal da oliveira	28
Figura 8. Fases de crescimento da azeitona	29
Figura 9. Exemplos de variação do coeficiente redutor (K_r) em função da superfície coberta (S_c), diferentes sistemas de produção do olival.....	32
Figura 10. Exemplo da planificação da estratégia de rega deficitária controlado em olival	38
Figura 11. Rega gota a gota superficial num olival tradicional (A) e num olival em sebe (B).....	42
Figura 12. Instalação de um sistema de rega subterrâneo num olival tradicional (A) e num olival em sebe (B).....	42
Figura 13. Esquemas da forma do bolbo molhado em função da textura do solo. A – solo de textura argilosa; B-solo de textura franca ou franca-argilosa; C- solo de textura arenosa.....	43
Figura 14. Contadores volumétricos para monitorização do volume de água aplicado num sistema de rega gota-a-gota.	46
Figura 15. Caudalímetro eletromagnético.	46
Figura 16. Caudalímetro ultrassónico	46
Figura 17. Medição do volume de água debitado pelo gotejador para a determinação do caudal	48
Figura 18. Medição da pressão diretamente no gotejador (esquerda) e na rampa ou lateral do sistema (direita).	48
Figura 19. Valores médios diários da evapotranspiração de referência por concelho.....	52
Figura 20. Ilustração da reserva de água no solo.....	53
Figura 21. Relação entre a razão da evapotranspiração e a evapotranspiração de referência (ET/ET_0) e o défice de água (DAS, %) no perfil do solo (0-0,90 m) na cultivar “Cobrançosa” na região da Terra Quente Transmontana.....	56
Figura 22. Sondas “Time Domain reflectometry”-TDR. À esquerda: sonda com tubo de aceso; à direita: sonda tipo garfos.....	57

Figura 23. Sensores capacitivos para medição contínua da humidade volumétrica da água do solo. A- sonda estacionária de dois elétrodos (ECH ₂ O (Decagon Devices Inc.); B- Sonda de domínio de frequência disponível comercialmente: Sonda SentekEnviroSCAN® para medição do perfil de conteúdo de água ao longo de um tubo de acesso.....	58
Figura 24- Ilustração da gestão da rega por inteligência artificial; B- Gestão rega através de programa Irrimax com sondas enviroScan.....	59
Figura 25 A- Watermax sensor de resistência elétrica de matriz granular; B- Sensores colados nu tubo de PVC para facilitar a instalação.....	60
Figura 26. Ilustração da instalação de sensores watermax em diferentes profundidades para a gestão da rega no olival.....	61
Figura 27. Ilustração das relações solo planta atmosfera.....	63
Figura 28. Câmara de pressão de Scholander (esquerda.) e esquema de procedimento de medição (centro e direita).....	64
Figura 29. Variação do potencial hídrico foliar ao longo do dia, num dia típico de Primavera e de Verão, na oliveira em condição de ausência de stress hídrico.....	65
Figura 30. Relação entre o teor de água disponível (TAD) e o potencial hídrico de base na Cv. Cobrançosa na região da Terra Quente Transmontana.....	66
Figura 31. Imagem térmica obtida por câmara portal de infravermelhos.....	68
Figura 32- Dendrómetro transdutor linear de deslocamento variável (sensores LVDT) instalado em tronco de oliveira para programação da rega.....	69
Figura 33. Flutuações diárias do diâmetro do tronco.....	69
Figura 34. Padrões diários de fluxo de seiva para duas árvores. A linha vermelha mostra uma árvore que está a entrar stresse hídrico no dia 3.....	71
Figura 35. Sensores de fluxo de seiva em tronco de oliveira (à esquerda); proteção dos troncos das oliveiras com sensores de fluxo de seiva	72
Figura 36. Ilustração do espectro eletromagnético.....	73
Figura 37. comportamento típico da reflectância de uma folha saudável e em conforto hídrico.	74
Figure 18. Valores médios da reflectância da folha da oliveira em condições de diferentes estratégias de rega (FI = ausência de stress, SDI rega deficitária contínua com 60 e 30% da evapotranspiração, e RDI rega deficitária controlada, 100%ET e 60%ET).....	74
Figura 39. Dinamómetro para avaliação de FRF.....	80
Figura 40. Exemplo 1 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.....	81
Figura 41. Exemplo 2 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.	82
Figura 42. Exemplo 3 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.	81

Figura 43. Exemplo 4 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.....	82
Figura 44. Exemplo 5 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.	82
Figuras 45. Sistema de colheita mais usual.....	83
Figuras 46. Varejamento manual complementar.....	84
Figura 47. Comparação de valores de capacidade de trabalho medida em árvores vibradas por hora em olivais em que se recorreu ao varejamento manual complementar e em olivais em que não se recorreu a essa operação complementar.....	85
Figura 48. Custos por kg de azeitona colhida em olivais em que se recorreu ao varejamento complementar; Custos por kg de azeitona colhida em olivais em que não se recorreu ao varejamento complementar; Custos por kg de azeitona colhida pelo varejamento complementar	85
Figura 49. Composição química do azeite.....	89
Figura 50- principais classes de compostos fenólicos presentes no azeite virgem extra.....	91

Índice Tabelas

Tabela 1. Efeito do défice hídrico no crescimento e na produção da oliveira em diferentes períodos do ciclo anual.....	27
Tabela 2. Valores de coeficiente cultural (K_c) obtidos experimentalmente para diferentes regiões.....	31
Tabela 3. Exemplo de cálculo da Evapotranspiração para um olival localizado em Alfândega da Fé com compasso de 6 m x 6 m	34
Tabela 4. Exemplo de cálculo das necessidades de rega um olival localizado em Alfândega da Fé com compasso de 6 m x 6 m	35
Tabela 5. Volumes (mL) registados num sector de rega.....	47
Tabela 6. Pressões (kPa) registadas num sector de rega.....	48
Tabela 7. Valores indicativos dos teores humidade à saturação (θ_{sat}), capacidade de campo (θ_{cc}), coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}) e água total disponível (TAD) para uma profundidade de solo de 1 metro.....	54
Tabela 8. Interpretação das leituras do sensor Watermark	61
Tabela 9 Características do azeite (Regulamento (CE) nº 1989/2003).	90

1.Introdução

Anabela Afonso Fernandes Silva e Manuel Teles Oliveira

1.1 Considerações sobre o uso da água na agricultura

A agricultura e a irrigação são temas fundamentais para o desenvolvimento e sustentabilidade das práticas agrícolas pois, segundo o Banco Mundial, no mundo as terras irrigadas são 20% do total da área agrícola, mas contribuem com 40% da produção. A rega é a aplicação controlada de água no solo para fornecer a humidade necessária para o desenvolvimento das plantas, especialmente em áreas onde a precipitação natural é insuficiente. As necessidades de água de rega procuram contrabalançar as diferenças entre a precipitação e a evapotranspiração da cultura.

Nas economias modernas, a agricultura é o maior consumidor de água que por um lado contribui para o aumento da produtividade agrícola e por outro, pode ameaçar a preservação dos recursos hídricos. Atualmente, assistimos a períodos prolongados de seca no território da União Europeia, aumento da temperatura, competição pelo uso da água por diferentes sectores de atividade e diversas formas de poluição do solo e das águas que colocam enorme pressão sobre os recursos hídricos. Garantir a segurança alimentar face a estes desafios requer melhoria na capacidade de gestão da água e do seu uso responsável.

A eficiência da rega é crucial para otimizar o uso da água e garantir a produtividade das culturas bem como a proteção dos recursos hídricos. Poupanças significativas de água, até 40% da água extraída, podem ser conseguidas pelo efeito simultâneo de melhorias nos sistemas de distribuição, aumento da eficiência da aplicação da água, mudanças nas práticas agrícolas, cultivo de plantas mais resistentes à seca e reutilização de águas tratadas. Além disso, a gestão adequada da rega pode contribuir para melhores condições e resiliência do solo.

A aplicação da quantidade de água necessária no exato momento em que é precisa é um passo fundamental na gestão da rega e as modernas tecnologias são ferramentas utilíssimas para maior eficiência de rega e melhores resultados de produção. A aprendizagem por máquinas, sistemas neurais artificiais,

aquisição automática de dados, sua análise e interpretação têm enorme potencial para desenvolver melhores sistemas de rega, garantir melhores produções e reduzir riscos ambientais. O custo das modernas tecnologias tem baixado, a sua utilização mais fácil e a existência de informação gratuita e de fácil acesso têm permitido a expansão das modernas ferramentas tecnológicas ao serviço da agricultura e, neste caso, da gestão da utilização da água.

1.2 Caracterização do olival

O olival constitui uma das principais culturas permanentes a nível nacional. Entre 2009 e 2019 registou-se um aumento na sua área de 12% (cerca de 42000 ha), com uma ocupação atual de 377 234 ha (RGA, 2019), que representa cerca de 44% do total da área das culturas permanentes, estando presente em todas as regiões do continente.

A nível regional, importa salientar a evolução verificada no Alentejo, a primeira região produtora de importância nacional, que nos últimos 20 anos expandiu a sua área de olival em perto de 60 000 ha, com uma área atual de 197 628 ha, concentrando cerca de 52% da área de olival nacional. No Norte de Portugal, o olival predomina na região de Trás-os-Montes, com 81 691 ha. Em Trás-os-Montes, o olival marca presença em 62% do total das explorações agrícolas da região, subindo para 69% nas explorações agrícolas com culturas permanentes, ocupando 36,7% da área das culturas permanentes da região (INE, 2019). Do número total de explorações a nível nacional que se dedicam ao olival, 31% encontram-se na região de Trás-os-Montes, assumindo um peso de 21,7% na área total de olival. Nos últimos 20 anos houve um crescimento 9 403 ha na área de olival regional. É, pois, evidente a importância desta cultura na região, sendo a segunda região de importância a nível nacional, logo a seguir ao Alentejo. Relativamente à especialização da atividade, observa-se que apenas 10% das explorações da região são especializadas em olivicultura e que abarcam 24% da área do olival regional (INE, 2019).

No que concerne ao sistema de condução, o olival tradicional apresenta uma representatividade elevada (> 50 %) em praticamente todas as regiões produtoras, constituindo exceção a região de Trás-os-Montes, onde predomina o olival em vaso (100-700 árvores/ha) com 78% da área, seguido do olival tradicional (até 100 árvores/ha), com um peso de 22%, sendo a presença do

olival em sebe quase insignificante (INE; 2019). Em contraste, na região do Alentejo o olival em sebe assume maior expressão (28%) seguido do olival em vaso (41,1%), e por último o olival tradicional com cerca de 31% da área regional.

Ao longo da última década verificou-se um aumento apreciável da área de olival regado, que passou de 20% para 32% em termos nacionais e que se deveu essencialmente à instalação de novos olivais. Analisando os dados a nível regional, verifica-se que o aumento da área de olival regado ocorreu em todas as regiões produtoras, embora tenha sido claramente mais marcado no Alentejo, com um aumento entre 2009 e 2019 de 35 % para 53% da área regional, particularmente em consequência do crescimento das áreas de regadio na envolvente do sistema global do Alqueva. Já na região de Trás-os-Montes esse aumento foi de 2%, representando atualmente a área de olival em regadio 7% da área regional. Contudo, o olival em sequeiro continua a ser a forma predominante de exploração olivícola na região, por razões aliadas à falta de disponibilidade de água em parte devida ao insuficiente armazenamento nos períodos de excesso para posterior disponibilização nos períodos de escassez. É hoje evidente que o regadio é um aspeto fundamental para a modernização e competitividade da olivicultura nacional!

4.1 Importância da olivicultura

O olival compreende atualmente uma elevada posição estratégica no panorama de desenvolvimento rural do País. Nas últimas décadas, o setor do azeite tem vindo a assumir uma importância económica crescente, quer no contexto internacional como no nacional. A nível mundial, Portugal é atualmente o 4º maior país exportador, o 7º maior país produtor de azeite (o 4º maior produtor na União Europeia). A produção nacional da olivicultura representa cerca de 9% do valor total da produção agrícola, em resultado dos fortes crescimentos verificados na produção de azeitona e de azeite, que permitiram que o setor passasse a contribuir positivamente para a balança comercial nacional e a garantir a autossuficiência do abastecimento de azeite (AGRO.GES, 2022). Para este aumento da importância económica do setor do azeite contribuíram os fortes investimentos de modernização realizados, nomeadamente a instalação dos novos olivais modernos de regadio, sobretudo

na região de envolvimento do empreendedorismo agrícola do Alqueva, com o consequente aumento das produtividades médias de azeitona (AGRO.GES, 2022). De ressaltar que no último decénio a produção média nacional de azeite mais que duplicou em relação à primeira década deste século, atingindo o máximo histórico na campanha 2021/2022 com 206 000 t (COI, 2023). Outros fatores contribuíram para este sucesso, como sejam, a modernização dos lagares de azeite nacionais, com incremento da sua capacidade de laboração de azeitona e melhoria da qualidade dos azeites produzidos. Portanto, a atividade olivícola desempenha um grande protagonismo económico e social no setor primário e secundário em Portugal, uma vez que é responsável pela criação de emprego, serviços e rendimento em territórios que apresentam sérios problemas de erosão demográfica.

É hoje evidente que o regadio é um aspeto fundamental para a modernização e competitividade da olivicultura nacional. Num país marcado profundamente por um clima mediterrânico, com a estação da chuva concentrada no outono e inverno, e escassez na estação de crescimento da oliveira, a produtividade do olival é manifestamente dependente deste recurso natural. Num contexto de alterações climáticas e escassez hídrica agravada, por anos recorrentes de seca, a gestão deste importante recurso assume uma importância cada vez mais relevante. Neste contexto, o olival é uma das culturas de regadio com menores necessidades de água para rega, uma vez que se trata de uma cultura bem adaptada ao clima mediterrânico, que consegue sobreviver a períodos de seca intensa, produzir e atingir níveis de produtividade consideráveis mesmo em situações de rega deficitária (Silva, 2008). Importa por isso, investir em estruturas de aprovisionamento da água das chuvas, dinamizar redes de distribuição de água dos aproveitamentos hidroagrícolas existentes nas regiões produtoras, impulsionar e dinamizar a literacia do uso racional e eficiente da água de rega, criar sistemas de aviso à tomada de decisão da rega, quando e quanto regar.

2. Evapotranspiração do Olival



2. Evapotranspiração do Olival

Anabela Fernandes Silva e Manuel Teles Oliveira

2. 1. A evapotranspiração

A água que as plantas necessitam está armazenada no solo e é absorvida pelas raízes. A água armazenada provém da precipitação e, nos terrenos regados, também da rega. Este armazenamento esgota-se ao longo do tempo por dois processos: por movimento da água dentro do solo, e sai para fora do alcance das raízes, e por evapotranspiração, a qual é a principal saída / perda da água do solo. Na verdade, pode-se dizer que a água entra no solo pela precipitação e é devolvida à atmosfera pela evapotranspiração num ciclo contínuo.

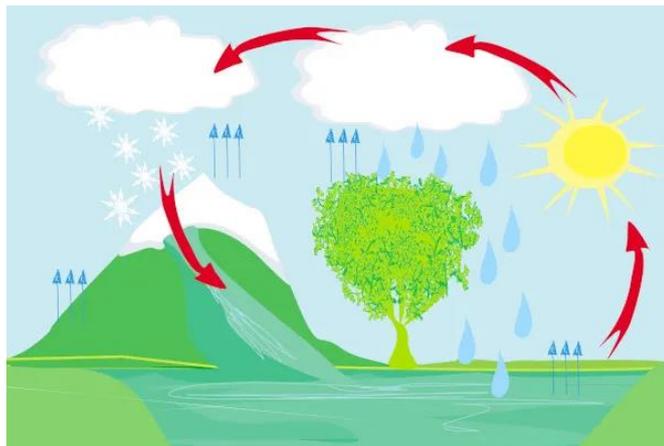


Figura 1. O ciclo da água simplificado

A evapotranspiração é a combinação da evaporação diretamente do solo e da transpiração das plantas que a absorvem pelas raízes e que sai pelas folhas, na forma de vapor de água, para a atmosfera. A evaporação (E) e a transpiração (T) são dois processos distintos que ocorrem simultaneamente sendo à escala das áreas vegetadas a sua medição em separado difícil, daí que se meça o conjunto dos dois processos como se fosse um único: a evapotranspiração (ET).

A evaporação (E) é um processo físico em que a água passa do estado líquido ao estado de vapor sob controlo da energia solar disponível. Quanto maior for essa energia, que pode ser sentida como temperatura, maior quantidade de água líquida passa ao estado de vapor. A água que está

armazenada no solo passa por esse processo. A transpiração (T) é um processo biofísico. As plantas absorvem a água pelas raízes e transportam-na pelos caules e ramos até às folhas onde a água se evapora pelos estomas. Este processo também depende da energia solar, mas as plantas têm algum controlo sobre o processo porque podem abrir ou fechar os estomas e, assim, aumentar ou reduzir a quantidade de água que passa do solo para a atmosfera. Este fluxo de água pela planta é fundamental para a planta crescer e desenvolver-se. Como foi dito anteriormente, o processo conjunto de evaporação e transpiração dá origem à evapotranspiração. A evapotranspiração de uma cultura designa-se por **evapotranspiração cultural (ETc)**

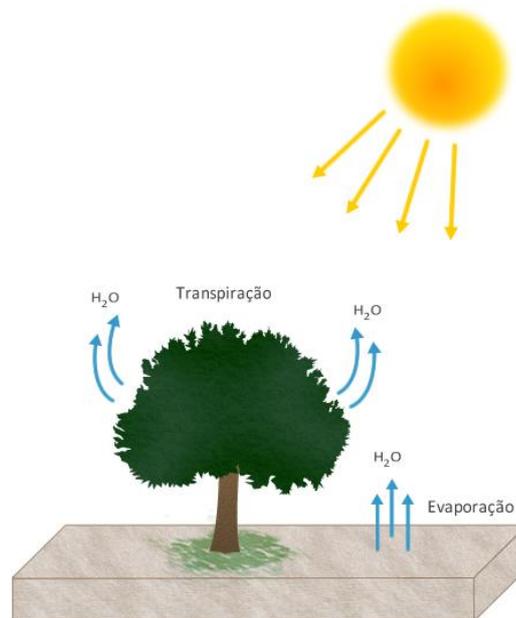


Figura 2. O processo de evapotranspiração: evaporação + transpiração

O valor de ET num determinado período e local é afetado pelas condições atmosféricas, pelas características dos cultivos, pela gestão dos cultivos e do solo, além de várias outras condições ambientais. Dado que há estes tantos condicionalismos, encontraram-se processos de determinar o valor de ET de forma prática e que nos podem fornecer valores de ET que sejam facilmente utilizáveis para gerir os cultivos. Vamos abordar aqui um desses processos de cálculo que é considerado o mais adequado para efeitos de gestão da rega das culturas.

2.2 Conceitos de evapotranspiração

2.2.1 A evapotranspiração de referência

A evapotranspiração de referência (ET_0) é a evapotranspiração numa superfície extensa com vegetação rasteira (normalmente relva), em crescimento activo, sem pragas e doenças, cobrindo totalmente o solo, com altura entre 8 e 15cm (IAF= 3), sem restrição hídrica e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Assim, a ET depende unicamente de parâmetros climáticos, sendo portanto a ET_0 uma variável climática (Figura 3), e que pode ser calculada a partir de dados meteorológicos.



Figura 3 – Parâmetros climáticos e cultura de referência necessários para a avaliar a evapotranspiração de referência (ET_0) (Adaptado de Allen et al., 1998).

A ET_0 expressa o potencial de evapotranspiração da atmosfera para as condições meteorológicas vigentes num determinado local, época do ano, e não considera as características das culturas, nem dos fatores do solo. Neste ponto de vista, das metodologias de cálculo da evapotranspiração, o método da FAO Penman-Montheith é o recomendado como único método de determinação com parâmetros climáticos porque é a que produz resultados mais exactos e fiáveis, quer em climas áridos como em húmidos (Allen et al., 1998). Esta metodologia é traduzida pela expressão seguinte:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

ET_0 Evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹)

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

G	Fluxo de calor no solo ((MJ m ⁻² dia ⁻¹)
T	Temperatura média do ar (°C)
u_2	Velocidade do vento a 2 m de altura (ms ⁻¹)
e_s	Pressão de vapor de saturação (kPa)
e_a	Pressão real de vapor de água (kPa)
Δ	Declive da curva da pressão de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	Constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

A evapotranspiração de uma cultura em dada fase do seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento difere da ET_o sobretudo devido à sua área foliar. A ET verificada numa cultura que cobre o solo de forma diversa da referência é designada por evapotranspiração cultural (ET_c) que se relaciona com a ET_o por um fator designado por fator cultural (K_c).

2.2.2 A evapotranspiração cultural (ET_c)

A evapotranspiração cultural (ET_c) corresponde à evapotranspiração de uma determinada cultura numa dada fase do seu desenvolvimento, crescendo em condições ótimas, sem restrição hídrica e em ausência de pragas e doenças, bem fertilizada e que alcança a máxima produção em função das condições climáticas vigentes (Figura 4).



Figura 4. Evapotranspiração de referência (ET_o) e características da cultura contempladas no coeficiente cultural (K_c) para o conhecimento da evapotranspiração de uma cultura (ET_c) em condições ótimas para o seu crescimento, sem restrição hídrica (Adaptado de Allen et al., 1998).

A quantidade de água necessária para compensar a perda por evapotranspiração da cultura define-se como necessidades hídricas da cultura.

A reposição de água, através da rega, numa taxa equivalente à ET_c , conduz a uma produção otimizada nas condições climáticas especificadas. A relação ET_c/ET_0 que pode ser determinada experimentalmente para diferentes culturas é conhecida como coeficiente cultural (K_c), e utiliza-se para relacionar a ET_c com a ET_0 de maneira que a $ET_c = ET_0 \times K_c$. O coeficiente cultural (K_c) contempla o efeito integrado das características da cultura ao longo do seu período de desenvolvimento, como sejam, altura, albedo, resistência à transferência de vapor de água para a atmosfera (depende da área foliar, idade da cultura e do controlo estomático), e da evaporação da camada superficial do solo. No caso do olival, a curva anual do K_c apresenta um padrão de comportamento invertido (Figura 5) em comparação com a curva típica do K_c em culturas herbáceas, apresentando-se valores máximos na primavera e Outono e mínimos no Verão. Isto deve-se ao fato de a oliveira ser uma cultura perene de folha persistente, e por apresentar uma cobertura incompleta da superfície do solo. Assim, ao contrário das culturas anuais, o valor mínimo do K_c no olival ocorre nos meses de verão, pelo fato de a transpiração ser a componente da ET que contribui maioritariamente para este processo, uma vez que a evaporação da água da fração do solo descoberta é praticamente nula, devido à sazonalidade da precipitação e à elevada capacidade evaporativa da atmosfera do clima mediterrânico (Silva, 2008).

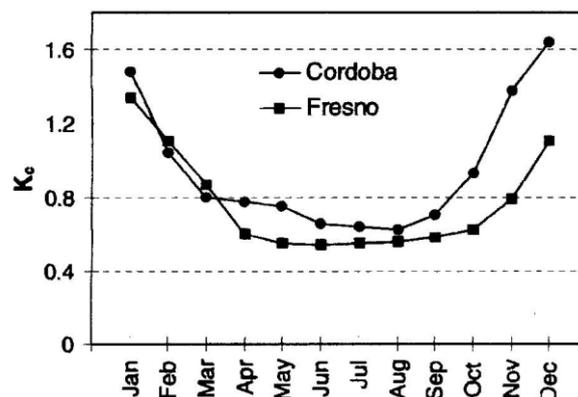


Figura 5 – Variação anual do coeficiente cultural do olival (Testi et al., 2006).

É possível proceder à estimativa diária da ET_c de uma cultura, ou seja, das suas necessidades hídricas diárias, a partir de dados meteorológicos diários que permitam o cálculo da ET_0 e do conhecimento da curva de variação do

coeficiente cultural (K_c) ao longo do ciclo da cultura. De referir que é possível estimar separadamente as componentes da evapotranspiração de uma cultura, isto é, a evaporação da água do solo (E) e a transpiração (T) das plantas (Figura 6) a partir da utilização de um coeficiente dual da cultura, ou seja, $K_c = K_e + K_{cb}$. O coeficiente K_e (coeficiente de evaporação) diz respeito à componente da evaporação que ocorre na superfície do solo. O coeficiente K_{cb} (coeficiente basal da cultura) representa o quociente entre a ET_c e a ET_o quando a superfície do solo se encontra seca, mantendo-se a humidade do solo na zona radicular a um valor que não limita a evapotranspiração (Pereira, 2005). Normalmente, esta condição verifica-se quando o sistema de rega é do tipo gota-a-gota, resumindo-se a evaporação da água do solo à zona dos bolbos de solo que são diretamente humedecidos pelos gotejadores. Nestas circunstâncias a componente da evapotranspiração é dominada pela transpiração da planta (Figura 6), pelo que será mais adequado calcular a ET_c com o coeficiente K_{cb} .

Para alcançar a máxima produção, devemos assegurar que o conteúdo de água no solo seja suficiente para que a cultura possa extrair toda a água que a atmosfera lhe solicita ou seja satisfazer as necessidades de evapotranspiração cultural (ET_c).

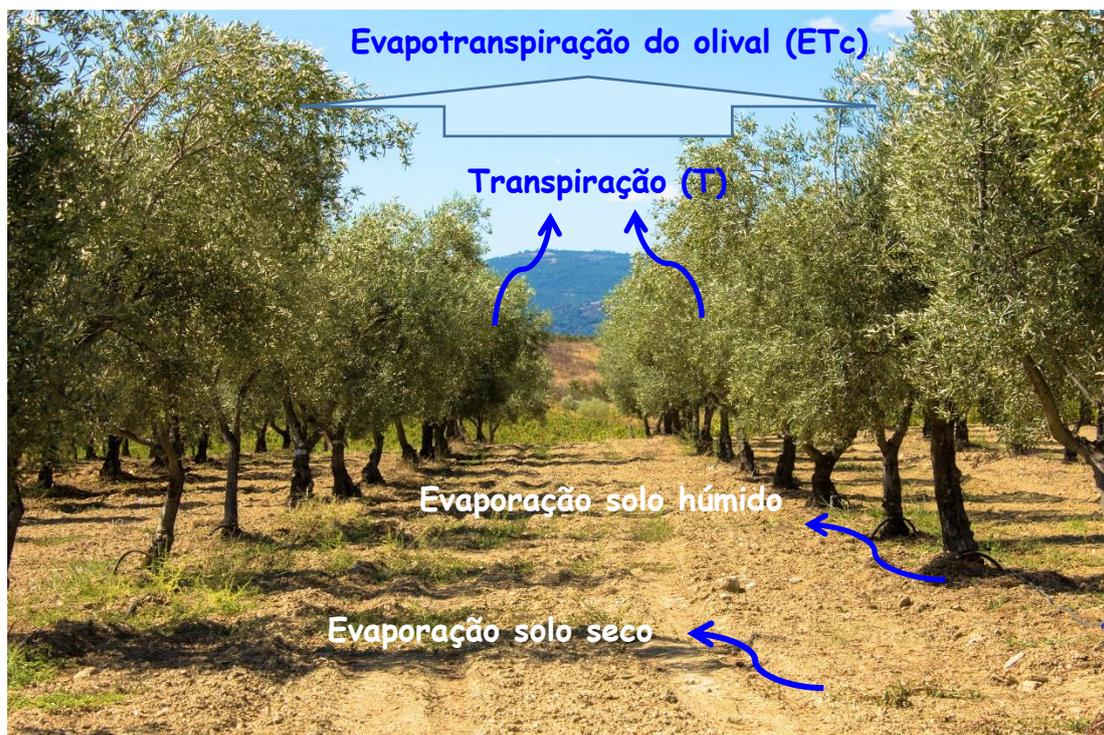


Figura 6. Ilustração das componentes da evapotranspiração do olival.

Exemplo

Qual é a ET_c de um olival acumulada em 7 dias, em Julho, considerando que ET_o acumulada nesse período foi de 45 mm e o K_c foi de 0,60?

$$ET_c = 45 \times 0.60 = 27 \text{ mm}$$

Significa que se pretender manter o olival sem restrições hídricas, no final do período considerado, e se não houver precipitação, deve ser aplicado um volume de água de 27 litros por metro quadrado (270 m³/ha). O volume de água a aplicar pode ser repartido pelos 7 dias da semana ou apenas em 1 ou 2 eventos de rega semana, dependendo das características físicas do solo e da sua profundidade efetiva.

3.Necessidades de Rega do Olival



3. Necessidades de Rega do Olival

Anabela Fernandes Silva

3.1. Introdução

A oliveira (*Olea europaea* L.) tem sido considerada uma das espécies hipoestomáticas melhor adaptadas às condições ambientais semiáridas mediterrânicas (Gimenez et al., 1997). As folhas toleram potenciais hídricos foliares extremamente baixos (-10 MPa) e os tecidos podem perder até 40 % de água, sem prejudicar a sua capacidade de reidratação (Xiloyannis et al., 1999; Fernandes-Silva et al., 2016). Efetivamente a oliveira está habilitada a mobilizar a água do solo em condições de escassez, sendo capaz de estabelecer elevados gradientes de potencial hídrico entre as folhas e as raízes da ordem de - 2,5 MPa e extrair a água fortemente retida nas partículas mais finas do solo. A notável adaptação desta planta a condições de déficit hídrico confere-lhe a capacidade de crescer e obter produções razoáveis (1-2 t/ha) em condições de sequeiro em áreas onde a precipitação anual é cerca de 500 mm, e onde a estação seca pode durar cinco ou seis meses (Fernandes- Silva et al., 2010). Este comportamento só é possível à custa de mecanismos de adaptação da oliveira direcionados para o impedimento ou a tolerância ao déficit hídrico. Apesar dos genótipos da oliveira, isto é, as diferentes cultivares, exibirem diferenças na tolerância ao déficit hídrico (Tognetti et al., 2002;) as estratégias da oliveira para *impedir* ou atrasar o desenvolvimento de stresse hídrico passam pelo controlo da taxa de transpiração (Fernandes-Silva et al. 2010) e pelo desenvolvimento de um sistema radicular extenso, enquanto que a estratégia de *tolerância* à seca, confere-lhe a capacidade de aguentar um déficit hídrico interno elevado e manter uma atividade metabólica suficiente que lhe permite sobreviver e produzir (Connor, 2005).

A resposta de fecho dos estomas, ao meio dia solar, evidenciada pela oliveira face a condições de déficit hídrico determina simultaneamente a interrupção da perda de água por transpiração e a entrada de CO₂ necessário ao processo de fotossíntese, afetando a produção de fotoassimilados e, por conseguinte, o crescimento e a produção final da oliveira. Apesar desta resistência à seca, a produtividade do olival, como de todas as plantas, responde negativamente à

falta de água. Na Tabela 1 resume-se a resposta do crescimento e da produção observada quando existe défice hídrico nas diferentes fases fenológicas da cultura. Estas respostas devem ser tomadas em consideração no momento de decidir a rega e a quantidade de água a aplicar.

Tabela 1. Efeito do défice hídrico no crescimento e na produção da oliveira em diferentes períodos do ciclo anual (Adaptado de Orgaz e Fereres, 2008).

Fase fenológica	Período do ano	Efeito do défice hídrico
Crescimento dos ramos	Principalmente no final do Inverno até ao início do Verão e Outono	Reduz o crescimento dos ramos
Desenvolvimento dos botões florais	Fevereiro a Abril	Reduz a formação de flores
Floração	Abril a Maio	Floração incompleta
Vingamento do fruto	Maio a Junho	Vingamento fraco, aumenta a alternância de produções
Crescimento do fruto devido à divisão celular	Junho a Julho	Reduz o tamanho do fruto devido à diminuição da divisão celular
Crescimento do fruto devido à expansão celular	Agosto até à colheita	Reduz o tamanho do fruto devido à diminuição da expansão celular
Acumulação de gordura	Setembro até à colheita	Reduz o conteúdo de gordura

As considerações anteriores sustentam a importância da prática da rega nesta cultura, anulando a dependência das produções da ocorrência de anos meteorologicamente favoráveis em termos de precipitação, permitindo regularizar as produções anuais. O cultivo da oliveira em regadio permite um maior desenvolvimento vegetativo, reduz o tempo improdutivo, ou seja, permite que as árvores jovens entrem em produção mais cedo atingindo mais rapidamente a plena produção, aumenta o crescimento dos raminhos do ano e por conseguinte o nº de gomos de inflorescências florais e de flores, melhora o vingamento dos frutos, aumenta o números de frutos e o tamanho da azeitona, atingindo-se produtividades em azeitona e azeite superiores em relação ao sequeiro (Silva, 2008; Ramos e Santos, 2009).

3.2. Exigências hídricas

Uma gestão racional dos recursos hídricos disponíveis para a rega implica o conhecimento prévio dos diferentes estados de desenvolvimento da oliveira, especialmente quando é adotada uma estratégia de rega deficitária.

Tanto o crescimento dos ramos como o desenvolvimento dos frutos são fenómenos cíclicos na oliveira. Ambos se repetem com carácter anual, mas somente o crescimento vegetativo se completa no mesmo ano, requerendo os processos que conduzem à frutificação duas estações consecutivas (Rallo e Cuevas, 2008). Na primeira tem lugar a formação dos gomos e a sua indução floral. Após o repouso vegetativo, na segunda estação, tem lugar o desenvolvimento das flores (Figura 7) e o crescimento e desenvolvimento dos frutos, terminando com a sua maturação.

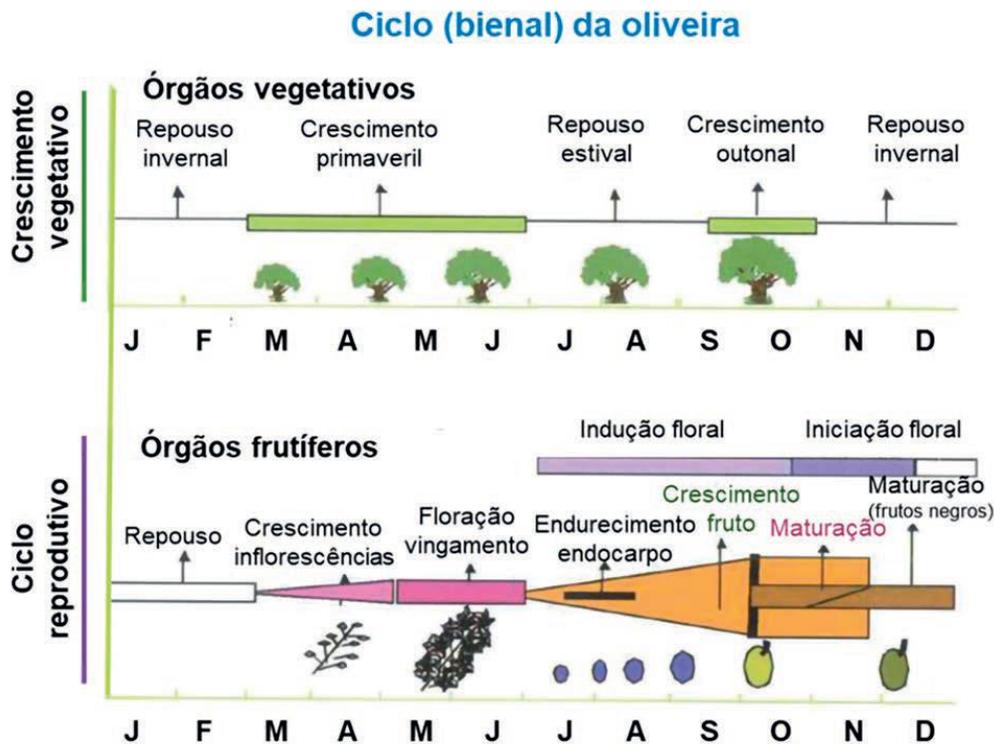


Figura 7. Representação esquemática do ciclo bienal da oliveira (Inês et al., 2022).

O défice hídrico exerce influência durante todo o ciclo vegetativo e reprodutivo da oliveira (Tabela 1), cujo grau depende da maior ou menor sensibilidade de cada fase fenológica, nos vários processos que determinam o crescimento e a produção final. As fases mais sensíveis à falta de água, são, portanto, a primeira fase do crescimento vegetativo que ocorre na primavera, a

floração, o vingamento do fruto, a primeira fase do crescimento do fruto (fase I), que envolve uma grande divisão celular; a acumulação de gordura e a terceira fase de crescimento do fruto (fase III), caracterizada pela expansão celular e portanto responsável pelo tamanho da azeitona (Figura 8). É amplamente consensual na bibliografia que a segunda fase de crescimento da azeitona (fase II) que corresponde ao endurecimento do caroço (figura), é a menos sensível ao défice hídrico.

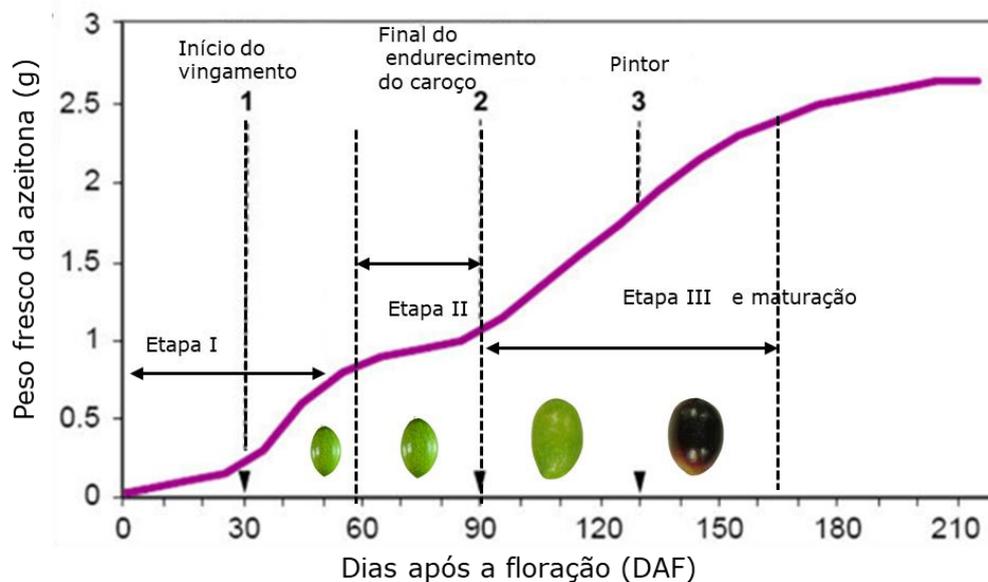


Figura 8. Fases de crescimento da azeitona

3.3 Necessidades hídricas para a máxima produção

Quando o conteúdo de água no solo não é suficiente para repor as perdas de água por transpiração a planta sofre de défice hídrico que altera toda uma série de processos cujo resultado final é a redução da produção. Para alcançar a máxima produção, deve-se assegurar que o conteúdo de água no solo seja suficiente para que a oliveira possa extrair toda a água que a atmosfera solicita, ou seja, satisfazer as necessidades de evapotranspiração (ET_c) designada de *evapotranspiração máxima da cultura*. Então, com a rega deve-se fornecer toda a água que o olival necessita, descontando a que é fornecida pela precipitação. A dotação de rega (R) quando aplicada através de uma instalação de rega bem projetada, pode ser calculada de acordo com a Eq. 1, recomendando-se regar nos períodos em que a ET_c seja superior à precipitação efectiva (P_e). Por outro lado, quando a $ET_c - P_e < 0$ a água fica acumulada no solo como reserva, nos

períodos em que a $ET_c - P_e > 0$ produz-se um défice de água no solo que é necessário suprimir mediante o uso da reserva do perfil de solo explorado pelas raízes ou através da rega com a quantidade resultante do défice.

$$\text{Rega} = \text{Evapotranspiração do olival} - \text{precipitação efetiva}$$

Eq.1

Entende-se por precipitação efetiva (P_e) a quantidade de chuva que se infiltra no solo e que é armazenada ficando à disposição de ser utilizada pela planta. A precipitação efetiva (P_e) é sempre menor à quantidade de precipitação que é recolhida no pluviómetro. Isto deve-se a que parte da chuva pode perder-se por escorrência superficial antes de se infiltrar no solo, particularmente em solos com declive. Além disso, no caso de chuvas moderadas no verão, apenas os primeiros centímetros de solo ficam molhados, onde praticamente não há raízes, e depois de alguns dias aquela água trazida pela chuva evapora sem ter sido absorvida pelas árvores. Portanto, a precipitação efetiva pode ser quase 100% da precipitação total no caso de solos lavrados sem declive, enquanto, em solos muito íngremes, pode ser de 50% ou menos. Atendendo às características da precipitação do clima mediterrânico, considera-se, em geral, que a precipitação efetiva é de 70% da precipitação medida num pluviómetro. Chuvas de baixa intensidade (< 5 mm), principalmente se ocorrerem no verão, não são tomadas em conta no cálculo da precipitação efetiva, porque evaporam-se rapidamente. Então a água consumida pelo olival é:

$$\text{Água consumida pelo olival} = \text{Evaporação} + \text{Transpiração}$$

Eq.2

O método mais utilizado atualmente para estimar a evapotranspiração do olival (ET_c) baseia-se na seguinte equação (Doorenbos e Pruitt, 1977):

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r$$

Eq. 3

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (abordada anteriormente em 2.2.1), K_c é o coeficiente cultural e expressa o efeito das características do olival

nas necessidades hídricas e é obtido experimentalmente, o K_r é o coeficiente redutor que tem em conta o estado de desenvolvimento do olival. Os valores de K_c do olival para diferentes regiões produtoras resumem-se na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de coeficiente cultural (K_c) obtidos experimentalmente para diferentes regiões

Região	Valor do K_c	
Alfândega da Fé (Portugal)	0,45-0,60	Silva (2008)
Jaén (Espanha)	0,50-0,65	Pastor et al. (1999)
Córdoba (Espanha)	0,45-0,65	Pastor e Orgaz (1994)
Sevilha (Espanha)	0,50-0,70	Fernández (1999)
Sardenha (Itália)	0,50-0,70	Xiloyannis et al. (1999)
Campânia (Itália)	0,50-0,65	Patumi et al. (1999)
Creta (Grécia)	0,50-0,81	Michelakis et al. 1996

O facto de os valores de K_c no verão serem inferiores aos da primavera e outono, deve-se a um mecanismo que a oliveira tem para poupar água (Silva, 2008). Nos dias quentes e secos de verão, a solicitação atmosférica em vapor de água é muito alta, ou seja, o ar ao redor da árvore é muito quente e seco e o que leva a que a oliveira transpire muito para manter a sua temperatura dentro da gama ótima. Nestas condições a oliveira poderia transpirar em demasia, correndo o risco de apresentar sintomas de murchidão, queda de folhas e danos nos frutos. Para evitar a desidratação a oliveira fecha parcialmente os estomas. É, portanto, normal que num dia quente e solarengo de verão, a oliveira transpire muito pela manhã, mas quando começa a ficar muito quente a árvore fecha parcialmente os estomas, para reduzir a taxa de transpiração evitando assim a desidratação em excesso. A sensibilidade do K_c às condições ambientais pode estar relacionada com a sensibilidade dos estomas ao défice de pressão de vapor (VPD), que exprime o grau de secura do ar, e que fecham parcialmente quando o VPD é superior a um valor crítico (Fernandes- Silva, 2016). Este comportamento pode explicar as diferenças nos valores de K_c que se observam em diferentes regiões (quadro), sendo os valores maiores na primavera e outono e os menores no verão.

Parece óbvio que a ET_c de um olival intensivo e adulto, com um elevado volume de copa que cobre a maior parte da superfície do solo é maior do que a de um olival tradicional com um compasso de plantação largo ou um olival jovem em formação. Assim, surge a necessidade de contemplar o efeito do estado de desenvolvimento da cultura (superfície coberta pela copa) na ET_c através do coeficiente redutor (K_r), que está compreendido entre pouco mais de zero num olival jovem recém plantado até 1 num olival adulto intensivo em regadio. Para o seu cálculo pode ser utilizada a expressão proposta por Fereres e Castel (1981):

$$K_r = 2 \times Sc/100$$

Eq. 5

Em que Sc é a superfície do solo sombreada ao meio dia solar pela copa e pode ser calculada pelo diâmetro média da oliveira (D) e pela densidade de plantação (N oliveira por ha) pela expressão:

$$Sc = 3,1416 \times D^2 \times N/400$$

Eq. 6

Na Figura 9 são apresentados alguns exemplos do K_r e da Sc em função da dimensão da oliveira

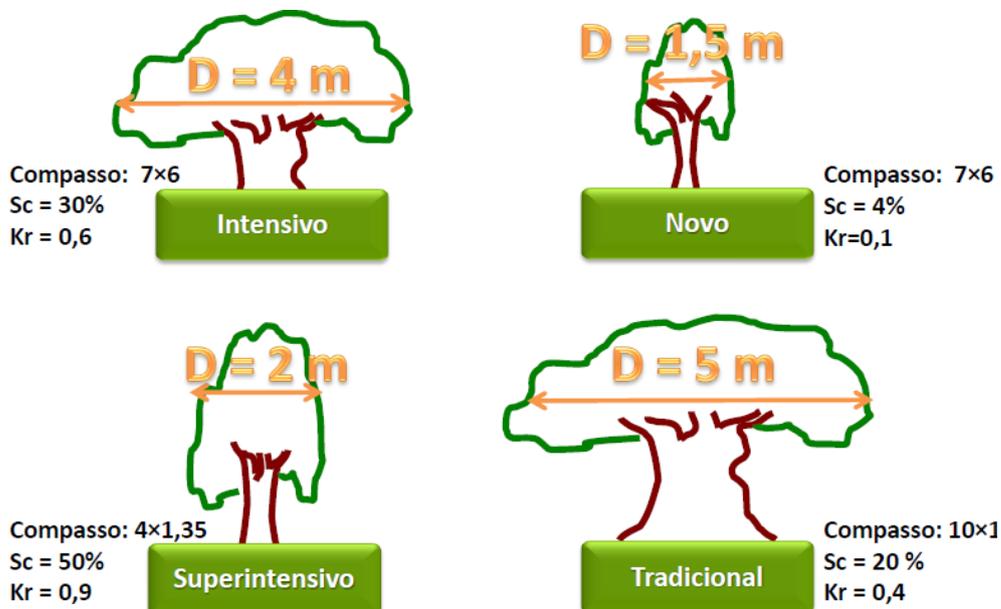


Figura 9. Exemplos de variação do coeficiente redutor (K_r) em função da superfície coberta (Sc), diferentes sistemas de produção do olival (COTR, s/d)

Com o método descrito é possível calcular com alguma aproximação a ET_c de um olival em diferentes regiões produtoras, e que corresponde à necessidade estacional de água que deve ser satisfeita para que a produção não seja afetada

pelo défice hídrico de água no solo. Atendendo à variabilidade climática das diferentes regiões produtoras e ao sistema de produção, a ET_c deve ser calculada para cada caso.

3.4 Exemplo de cálculo das necessidades de rega

Já foi referido anteriormente que as necessidades de rega (NR) representam as necessidades em água e cujo valor pode ser calculado pela subtração à evapotranspiração máxima da precipitação efetiva, ou seja, haverá necessidade de fornecer água ao olival pela rega sempre que a quantidade de precipitação num dado período é insuficiente para satisfazer as necessidades hídricas do olival, isto é, sempre que $ET_c - P_e < 0$.

A título de exemplo, vamos calcular a dose de rega de um olival em Vilarelhos (Alfândega da Fé) que tem oliveiras plantadas a 6 m x 6 m (278 oliveiras por hectare), com um diâmetro média da copa de 3,5 m e superfície de solo coberta (S_c) de 27,6%. Para este exemplo vamos considerar o valor de ET_o e da precipitação obtidos no local (Silva, 2008). A superfície de solo coberta pela copa obtém-se da Eq. 6, então:

Superfície de solo coberta (%) = $3,1416 \times (3,5)^2 \times 278/400 = 27,6\%$,

Logo, o $K_r = 2 \times 27,6/100 = 0,53$

A água que consome a oliveira em cada semana de rega calcula-se através da Eq. 3: $ET_c = ET_o \times K_c \times K_r$

O resultado obtido multiplica-se pelo compasso de plantação (6 m x 6 m) de 36 m² e assim obtém-se o nº de litros de água que se consome por dia e por oliveira. A ET_c assim calculada será a mesma para todos os dias da semana. De seguida mostram-se os resultados para cada semana durante o período de rega.

Tabela 3. Exemplo de cálculo da Evapotranspiração para um olival localizado em Alfândega da Fé com compasso de 6 m x 6 m

Mês	semana	K_r	K_c	ET_o (L/d/m²)	ET_c (L/d/m²)	ET_c (L/oliv.)
Abril	1	0,53	0,75	3,2	1,3	45,8
	2	0,53	0,75	4,2	1,7	60,1
	3	0,53	0,75	2,8	1,1	40,1
	4	0,53	0,75	4,0	1,6	57,2
Maio	1	0,53	0,65	4,5	1,6	55,8
	2	0,53	0,65	5,4	1,9	67,0
	3	0,53	0,65	5,0	1,7	62,0
	4	0,53	0,60	7,2	2,3	81,9
Junho	1	0,53	0,55	7,8	2,3	81,9
	2	0,53	0,55	6,4	1,9	67,2
	3	0,53	0,55	6,2	1,8	65,1
	4	0,53	0,55	6,5	1,9	68,2
Julho	1	0,53	0,45	6,8	1,6	58,4
	2	0,53	0,45	7,0	1,7	60,1
	3	0,53	0,45	6,3	1,5	54,1
	4	0,53	0,45	6,7	1,6	57,5
Agosto	1	0,53	0,45	7,9	1,9	67,8
	2	0,53	0,45	7,3	1,7	62,7
	3	0,53	0,45	4,3	1,0	36,9
	4	0,53	0,45	6,1	1,5	52,4
Setembro	1	0,53	0,60	5,8	1,8	66,4
	2	0,53	0,65	3,72	1,2	46,1
	3	0,53	0,65	3,2	1,1	39,7
	4	0,53	0,65	4,7	1,6	58,3
Outubro	1	0,53	0,70	3,7	1,4	49,4
	2	0,53	0,70	1,9	0,7	25,4
	3	0,53	0,70	1,5	0,6	20,0
	4	0,53	0,70	1,5	0,6	20,0

A dotação de rega calcula-se pela diferença entre a ET_c e a P_e . Vejamos, então as necessidades de rega (NR) em cada semana (Tabela 4)

Tabela 4. Exemplo de cálculo das necessidades de rega um olival localizado em Alfândega da Fé com compasso de 6 m x 6 m

Mês	ET_c	ET_c	P_e	P_e	NR	NR
	(L/d/m ²)	(L/oliv./d)	(L/m ²)	(L/m ² /d)	(L/d/m ²)	(L/oliv./d)
Abril	1,3	45,8	6,9	1,0	0,3	10,8
	1,7	60,1	26,6	3,8	0,0	0,0
	1,1	40,1	7,8	1,1	0,0	0,0
	1,6	57,2	9,8	1,4	0,2	7,2
Maio	1,6	55,8	0,0	0,0	1,6	57,6
	1,9	67,0	8,6	1,2	0,7	25,2
	1,7	62,0	0,0	0,0	1,7	61,2
	2,3	81,9	0,0	0,0	2,3	81,9
Junho	2,3	81,9	0,0	0,0	2,3	81,9
	1,9	67,2	8,4	1,2	0,7	25,2
	1,8	65,1	39,5	5,6	0,0	0,0
	1,9	68,2	0,0	0,0	1,9	68,2
Julho	1,6	58,4	0,0	0,0	1,6	58,4
	1,7	60,1	0,0	0,0	1,7	60,1
	1,5	54,1	0,0	0,0	1,5	54,1
	1,6	57,5	0,0	0,0	1,6	57,5
Agosto	1,9	67,8	0,0	0,0	1,9	67,8
	1,7	62,7	0,0	0,0	1,7	62,7
	1,0	36,9	0,0	0,0	1,0	36,9
	1,5	52,4	0,0	0,0	1,5	52,4
Setembro	1,8	66,4	9,5	1,0	0,8	28,8
	1,2	46,1	11,3	1,6	0,0	0,0
	1,1	39,7	3,8	0,5	0,6	20,3
	1,6	58,3	10,5	1,6	0	0,0
Outubro	1,4	49,4	4,1	0,6	0,8	28,8
	0,7	25,4	6,5	0,9	0	0,0
	0,6	20,0	23,7	3,4	0,0	0,0
	0,6	20,0	20,7	3,0	0,0	0,0

3.5 Como se deve regar quando se dispõe de pouca água?

Na seção anterior foi descrita uma metodologia cuja aplicação a cada caso particular permite aproximar as necessidades de rega para alcançar a máxima produção do olival. As dotações de rega resultantes são altamente variáveis em função do clima, do solo, do volume da copa do olival, podendo alcançar valores superiores a 500 mm (5000 m³/ha) anuais, no caso particular de plantações intensivas e em zonas áridas (Orgaz e Ferreres, 2008). De notar que para a região da Terra Quente Transmontana os trabalhos desenvolvidos (Silva, 2008) referem 200 mm (2000 m³/ha) para olival com menos de 300 plantas por hectare e uma superfície de solo coberta de 25%. Contudo, muitas vezes estes valores são superiores à disponibilidade de água para a rega, sobretudo em anos secos, como tem acontecido recentemente nas regiões olivícolas. Em outras situações o custo da água é muito elevado e a rentabilidade da rega para a máxima produção pode ser questionada. Nestes casos é de avaliar a adoção de rega deficitária, definida como a aplicação de uma dotação de rega inferior às necessidades máximas da cultura com o menor impacto possível na produção. As estratégias de rega deficitária podem beneficiar a produtividade por unidade de água usada pelo olival, ou seja, aumentar eficiência do uso da água. Para o efeito, é necessário conhecimento preciso da resposta produtiva da cultura à aplicação de rega deficitária nas diferentes fases do ciclo vegetativo e reprodutivo, ou seja, a eficiência do uso da água.

Entre as estratégias de rega deficitária com maior aplicação no olival destacam-se:

- Rega deficitária de baixa frequência
- Rega deficitária continua (RDC)
- Rega deficitária controlada (RDC)

Rega deficitária de baixa frequência: permite-se que a cultura esgote a água acumulada no solo até ao nível de défice permissível, a partir do qual se dá início à rega até que o teor de água no solo atinja a capacidade de campo. O número de regas depende do tipo de solo, da sua capacidade de infiltração e da capacidade de ar armazenamento de água.

Rega deficitária continua (RDC): rega-se com frequência ao longo de todo o ciclo da cultura com dotações de rega abaixo das suas necessidades máximas, isto é, rega-se com uma % estabelecida da ET_c , mas praticando uma frequência de regas suficientemente alta para evitar o aparecimento de défices hídricos grave em qualquer momento específico, que poderia ter resultados desfavoráveis.

Rega deficitária controlada (RDI): rega-se com frequência nos períodos do ciclo vegetativo em a oliveira é mais sensível ao défice hídrico (Tabela 2) com 100% da ET_c ou valores muito próximos ($80\%ET_c$), reduzindo-se ou mesmo interrompendo a rega nos estados fenológicos menos sensíveis (Figura 7). Na oliveira, foi provado que o stress hídrico no início da estação pode reduzir o rendimento devido a efeitos negativos na floração, na frutificação e na primeira fase de crescimento do fruto caracterizada por intensa divisão celular (Rallo e Cuevas, 2008). A segunda fase do desenvolvimento do fruto, que corresponde ao endurecimento do caroço (Figura 7), é considerada a menos sensível ao défice hídrico (Goldhamer, 1999). Esta fase ocorre, normalmente, a partir de meados de julho e dura 3- 4 semanas. Por outro lado, neste período ocorre uma paragem estival no crescimento vegetativo devido essencialmente às elevadas temperaturas. A biossíntese de gordura na polpa da azeitona inicia-se no final do endurecimento do caroço, isto é, na terceira fase do crescimento do fruto, em que ocorre um crescimento rápido devido à expansão celular, em que a disponibilidade de água para o fruto determina o seu tamanho e a acumulação de gordura; por isso, esta fase é muito sensível ao défice hídrico. Portanto, adoção da redução ou interrupção da rega recomenda-se que seja realizada na fase do endurecimento do caroço, e que, curiosamente, corresponde a um período de elevada demanda evaporativa da atmosfera, conseguindo uma poupança estacional de água de 30-40%, sem afetar significativamente a produtividade em azeitonas (Brito et al., 2021). A Figura 10 ilustra um exemplo de planificação da RDI para o olival.

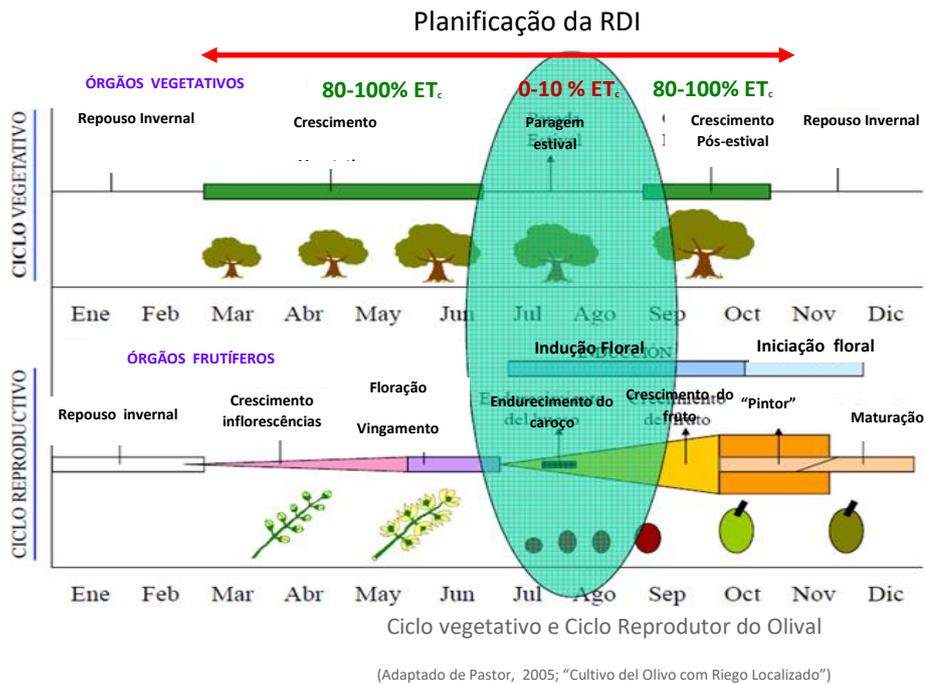


Figura 10. Exemplo da planificação da estratégia de rega deficitária controlado em olival

Nas situações de baixa disponibilidade de água para a rega impõe-se outra questão que é importante clarificar. Como se deve repartir a água entre as superfícies a regar? Devemos reparti-la entre toda a superfície do olival ou concentrar a rega numa parte da exploração, para que os benefícios superem os custos associados à rega? A resposta a esta pergunta requer o conhecimento da relação entre a produtividade (Y) e a sua evapotranspiração (ET_c), isto é, a água que o olival usou para produzir X toneladas de azeitona ou azeite por hectare, chamada de função de produção. Infelizmente a informação disponível a este respeito é muito escassa, apesar de existirem vários estudos de rega no olival, são muito poucos, dos que temos conhecimento, que tenham medido a ET_c do olival, devido à grande dificuldade. Esta fragilidade limita a generalização dos resultados a condições distintas (clima, solo e cultivar). Os estudos realizados em na região da Terra Quente transmontana nas cv. Cobreira (Fernandes-Silva et al, 2010) e na cv. Madural (Fernandes-Silva et al., 2021; Brito et al., 2021) indicam que é mais benéfico regar uma maior área do olival com rega deficitária do que concentrar a rega para a produção máxima a uma área restrita do olival da exploração para obter o máximo benefício económico. Estes autores observaram que a RDI permite um benefício económico muito próximo da rega com 100% da ET_c . Esta resposta notável deve-se a que a

eficiência do uso da água (razão entre a produtividade e a ET_c ou rega aplicada, WUE) é mais elevada nos tratamentos de rega deficitária, em geral mais de 50% em relação à rega máxima (Fernandes-Silva et al., 2021; Moriana et al., 2003).

3.6 Considerações finais

Das observações anteriores podemos extrair as seguintes recomendações no caso de limitação de disponibilidade hídrica:

- A oliveira é muito sensível ao défice hídrico na fase de desenvolvimento das gemas e da floração, pelo que em invernos secos e em caso de solos com baixa capacidade de retenção de água deve assegurar-se a rega neste período.
- Estratégias de rega que permitam esgotar a reserva de água no solo ao longo da estação de rega, tal como a RDI, traduzem poupanças de água importantes em relação à rega para satisfazer a ET_c na sua totalidade, sem afetar significativamente a produtividade do olival, são recomendáveis.
- Nas situações que elevada restrição de disponibilidade hídrica, é preferível restringir a rega nos meses de verão a uma pequena fração da ET_c , e repartir a água por uma maior superfície de olival da exploração, em vez de aumentar a dotação de rega e reduzir a área de olival regada. Contudo, deve ter-se cautela com a o corte total da rega no verão para evitar défices hídricos muito severos que sejam difíceis de recuperar.
- No caso de olivais jovens (novas plantações) é importante deixar claro que não se pratiquem qualquer estratégia de rega deficitária que restrinja o crescimento rápido da planta, uma vez que um dos objetivos é alcançar um volume de copa conveniente no período mínimo de tempo, para que o olival atinja a plena produção no período de tempo mais curto possível.

4 Uso eficiente da água de rega no olival



4. Uso eficiente da água de rega no olival

António Castro Ribeiro

4.1. Introdução

A sustentabilidade do uso da água tem implicações ambientais, tecnológicas, económicas e sociais que implicam conservação e poupança, quer pela necessidade de considerar a convivência com a escassez, quer no que se refere à qualidade da água (Pereira, 2007). A análise do desempenho dos sistemas de rega, relativos quer à parcela quer às redes de condução e distribuição de água, tem vindo a receber atenção continuada devido às implicações económicas e ambientais que lhe estão associadas. O desempenho da rega na parcela pode ser avaliado através de vários indicadores relativos à uniformidade de rega e à eficiência de aplicação. O conceito de eficiência foi introduzido por Israelsen (1932) para relacionar a quantidade de água consumida na produção de dada cultura com a quantidade de água mobilizada para a rega. A uniformidade de distribuição (UD) de água é um indicador da variação da quantidade de água aplicada pelo sistema de rega. Ou seja, indica-nos quão igual (ou desigual) é a taxa de aplicação de água na parcela (Molden et al., 1998). Baixas uniformidades traduzem condições de excesso e de défice de infiltração em partes da parcela originando perdas de água e fertilizantes nas zonas onde a água infiltrada sofre percolação para além da zona radicular, ou stresse hídrico nas zonas de défice de infiltração (Burt et al., 1997).

4.2 Sistemas de rega no olival

Os sistemas de rega localizada são os que equipam maioritariamente os olivais de regadio em Portugal. A rega gota-a-gota superficial (Figura 11) é predominante apesar de nos últimos anos a área equipada com rega subterrânea (Figura 12) ter vindo a aumentar de forma sustentada.



Figura 11. Rega gota a gota superficial num olival tradicional (A) e num olival em sebe (B)



Figura 12. Instalação de um sistema de rega subterrâneo num olival tradicional (A) e num olival em sebe (B).

Fontes: <https://www.hydrotech-irrigazione.it/en/implementation-subsurface-irrigation-olive-grove-noto-sicily.html> (A); <https://azud.com/en/application/subsurface-drip-irrigation/> (B).

As vantagens destes sistemas de rega subterrânea relacionam-se no essencial com a maior economia de água que proporcionam a, par de outras vantagens, como o potencial nível de automatização e conseqüente economia de mão-de-obra, a versatilidade no que diz respeito ao tipo de solo e características do terreno (declive), facilidade de fertirrigação, entre outras. As limitações/desvantagens estão relacionadas com o maior custo de investimento, a necessidade de uma eficaz monitorização do funcionamento dos equipamentos, em particular dos equipamentos de filtração da água, e dos emissores.

4.3 Distribuição de água no perfil do solo

A água aplicada por gotejamento sobre a superfície do solo infiltra-se e redistribui-se vertical e transversalmente resultando num volume molhado em

forma de bolbo (Figura 13). A dimensão e a forma do bolbo molhado dependem do caudal do gotejador da duração da aplicação e do tipo de solo. Em solos de textura argilosa ou franco-argilosa o bolbo é mais largo e menos profundo do que num solo arenoso. Nos solos arenosos o movimento de água é essencialmente determinado pela força da gravidade resultando assim um bolbo mais estreito e mais profundo, podendo originar frequentemente a infiltração para além da profundidade radicular.

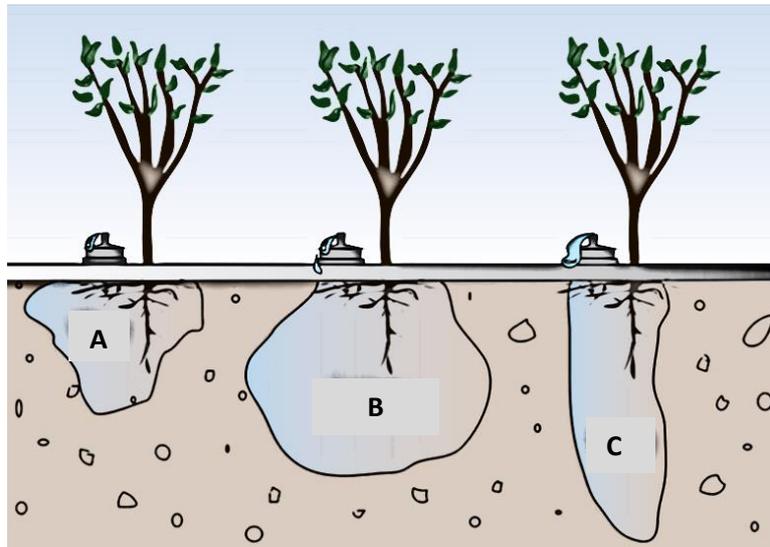


Figura 13. Esquemas da forma do bolbo molhado em função da textura do solo. A – solo de textura argilosa; B-solo de textura franca ou franco-argilosa; C- solo de textura arenosa. Adaptado de <https://www.dripworks.com/blog/how-to-save-water-and-money-with-drip-irrigation>

O projeto do sistema de rega está fora do âmbito deste manual. Contudo, refira-se que o bom funcionamento do sistema de rega e conseqüentemente a eficiência da aplicação de água está dependente de um adequado projeto de dimensionamento do sistema. Os aspetos críticos relacionados com o projeto do sistema de rega relacionam-se com a estimativa das necessidades de rega do olival no período de maiores necessidades de rega, número de emissores por árvore (espaçamento dos emissores na lateral e número de laterais por linha de árvores) e as suas características (caudal e pressão de funcionamento) e com o número de sectores de rega.

4.4. Indicadores de desempenho dos sistemas de rega

O desempenho dos sistemas de rega na parcela pode ser avaliado através de vários indicadores (Keller e Bliesner, 1990). Os principais são a uniformidade de distribuição da água (UD), a uniformidade de pressões e a eficiência de aplicação de água. No caso da rega localizada a UD (subsetor) também designada de Coeficiente de Uniformidade de Caudais (CUC) é definida por:

$$UD (\%) = \frac{q_{min}}{q_{med}} \times 100$$

em que q_{min} é a média dos caudais medidos em 25% dos emissores que registaram os menores caudais e q_{med} é a média de todos os caudais medidos.

O coeficiente de Uniformidade devido às Pressões (CUP) representa a homogeneidade do sector de rega avaliado relativamente às pressões medidas nos gotejadores. Define-se por:

$$CUP (\%) = \left(\frac{P_{min}}{P_{med}} \right)^X \times 100$$

Em que P_{min} é a média das pressões medidas em 25% dos emissores que registaram os menores valores e P_{med} é a média de todas as pressões medidas. X representa o coeficiente de descarga do gotejador que é fornecido pelo fabricante.

A eficiência de aplicação define-se, de preferência, pela relação:

$$Ea (\%) = \frac{Z_{r,lq}}{D} \times 100$$

em que $Z_{r,lq}$ é a quantidade média (mm) adicionada ao armazenamento na zona radicular no menor quartil e D é a dotação bruta aplicada (mm). Baixas eficiências indicam que parte da água aplicada não é utilizada para a produção, que pode ser de facto perdida se adicionada a lençóis freáticos ou águas superficiais degradadas.

A uniformidade de distribuição mede a capacidade do sistema aplicar a água uniformemente em toda a parcela enquanto a eficiência de aplicação mede a capacidade de o regante gerir esse sistema de forma a aplicar com precisão a água necessária. Tal facto implica que o regante deve não só conhecer as características e limitações do sistema de rega que utiliza como conhecer as

necessidades de água da cultura que rega, isto é, *Ea* depende da condução da rega e do sistema.

As variáveis que influenciam o desempenho dos sistemas de rega localizada podem ser separadas em variáveis associadas ao sistema e variáveis da gestão da rega. Para a Uniformidade de distribuição, nas variáveis associadas ao sistema de rega, incluem-se a pressão nos emissores (gotejadores), a variação da pressão dentro do sistema, o regime de escoamento dos emissores, o coeficiente de variação do débito dos emissores e as características do sistema de filtragem e nas variáveis associadas à gestão, a manutenção. Relativamente à eficiência de aplicação, às variáveis do sistema indicadas anteriormente acrescentam-se as características de infiltração do solo e a sua condutividade hidráulica. Nas variáveis de gestão associadas à eficiência de aplicação, além da manutenção incluem-se o teor de água no solo aquando da rega, a duração e a frequência da rega.

4.5 Medição de volumes e caudais nos sistemas de rega

A medição do caudal nos sistemas de rega pode ser feita recorrendo a equipamentos apropriados e que podem ser mais ou menos sofisticados. Os sistemas tecnologicamente mais avançados, além de grande precisão na medição, tem a vantagem de registar continuamente os dados durante o funcionamento dos sistemas. Em situações anómalas de funcionamento a medição de caudais permitirá a deteção e correção das mesmas e desta forma diminuir as perdas de água e melhorando assim a eficiência de rega.

Ao nível dos sistemas de rega, e em particular ao nível dos diferentes sectores de rega, também conveniente que os regantes tenham informação dos volumes de água consumidos, os quais devem estar em conformidade com as necessidades de reais de rega.

O funcionamento dos contadores volumétricos (Figura 14) baseia-se na passagem contínua do escoamento numa câmara de medição, tendo no interior um êmbolo circular oscilante, ou rotativo, cujo movimento é transmitido a um dispositivo que faz a contagem do volume de água.



Figura 14. Contadores volumétricos para monitorização do volume de água aplicado num sistema de rega gota-a-gota.

Existem vários tipos e modelos de medidores de caudal ou caudalímetros. Atualmente, os mais utilizados nos sistemas de rega são os eletromagnéticos e dos ultrassónicos (Figuras 15 e 16).



Figura 15. Caudalímetro eletromagnético. Fonte: <https://www.ffonseca.com>



Figura 16. Caudalímetro ultrassónico. Fonte: <https://www.vix.cl>

Os caudalímetros eletromagnéticos baseiam-se na diferença de potencial elétrico na corrente líquida e que é proporcional à velocidade média do escoamento e logo ao caudal. Os caudalímetros ultrassónicos emitem ondas ultrassónicas que se propagam através da água, sendo recebidas depois de comportarem o efeito do escoamento e usando essa influência para avaliar o caudal escoado.

4.6 Exemplos práticos de cálculo

4.6.1 Coeficiente de uniformidade de caudais (CUC)

Para a avaliação do desempenho do sistema de rega gota-a-gota deve-se seleccionar no mínimo 16 gotejadores representativos do sector ou sub-unidade do sector de rega em avaliação. Na prática devem seleccionar-se quatro laterais (rampas) distribuídas pelo sector. A primeira rampa à entrada do sector, a segunda e a terceira a 1/3 e 2/3 do comprimento do porta-rampas, respetivamente, e a última no final do porta-rampas. O mesmo critério deve ser aplicado para a escolha os gotejadores da lateral. A determinação do caudal deverá ser feita através do registo do volume num pequeno período de tempo (2 a 5 minutos), igual para todos os gotejadores (Figura. 17). O caudal será obtido dividindo o volume pelo tempo. A Tabela 5 mostra os volumes de água (mL) medidos em 16 gotejadores durante 2 minutos.

Tabela 5. Volumes (mL) registados num sector de rega

Localização da rampa do sector	Localização do gotejador na rampa			
	À entrada da rampa	1/3 do comprimento	2/3 do comprimento	Final
À entrada do sector	120	120	120	115
1/3 do comprimento	120	110	130	130
2/3 do comprimento	120	120	130	120
Final	140	130	150	150

mL – Mililitro

Passos para o cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Caudais (CUC) com base nos valores da Tabela 1:

1. Volume médio recolhido (média dos 16 gotejadores): 126,6 mL
2. Caudal médio (volume médio/tempo): 3,8 L/h
3. Volume médio dos 4 gotejadores com menor volume registado (25% dos gotejadores): 116,3 mL
4. Caudal médio dos 4 gotejadores com menor volume: 3,5 L/h
5. Coeficiente de Uniformidade de Caudais (CUC, %): 92%

4.6.2 Coeficiente de uniformidade de pressões (CUP)

Para o cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões, a medição da pressão é feita nos gotejadores selecionados para o cálculo do coeficiente de uniformidade dos caudais (Tabela 6). A pressão é medida com o auxílio de um manómetro colocado num tubo de inserção dos gotejadores (Figura 18), ou diretamente no tubo da lateral.



Figura 17. Medição do volume de água debitado pelo gotejador para a determinação do caudal.



Figura 18. Medição da pressão diretamente no gotejador (esquerda) e na rampa ou lateral do sistema (direita).

Tabela 6 Pressões (kPa) registadas num sector de rega

Localização da rampa do sector	Localização do gotejador na rampa			
	À entrada da rampa	1/3 do comprimento	2/3 do comprimento	Final
À entrada do sector	150	145	140	135
1/3 do comprimento	145	145	140	130
2/3 do comprimento	140	140	135	130
Final	140	140	130	125

Passos para o cálculo do Coeficiente de uniformidade de pressões (CUP) com base nos valores da Tabela 6:

1. Pressão média de todos os gotejadores seleccionados (P_{med}): 137,5 kPa
2. Pressão media dos quatro gotejadores de menor pressão ($P_{25\%}$): 128,75 kPa
3. Coeficiente de Uniformidade das Pressões (CUP): 96,1 %

No exemplo de cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões foi considerado um expoente “x” de 0,6 relativo ao parâmetro de descarga.

4.6 Considerações finais

A necessidade de alcançar bons desempenhos dos sistemas de rega é indispensável ao uso eficiente da água de rega no olival. Um bom desempenho requer que o sistema de rega seja bem projetado já que a uniformidade é essencialmente definida aquando da escolha das soluções de projeto. O sistema de rega deve ser bem gerido, de acordo com o seu potencial e, para que isso seja possível, é necessário considerar a necessidade de apoio técnico adequado aos agricultores a nível de projeto, do controlo da qualidade de equipamentos e serviços, da condução da rega, e da avaliação dos sistemas em operação.

5. Ferramentas e Indicadores para a Gestão da Rega do Olival



5.Ferramentas e indicadores para a gestão da rega do olival

Anabela Fernandes Silva e Manuel Teles Oliveira

5.1 Introdução

A gestão da rega tem como principal objetivo responder às seguintes duas grandes questões: quando regar e quanto regar. Atualmente, os sistemas de rega sob pressão, como por exemplo a gota-a-gota, simplificam e automatizam a rega, o que leva a que muitos agricultores se esquecem do quão é importante a prática da gestão criteriosa da rega, optando, em geral, por regar a mais do que ter a preocupação de ajustar a rega às necessidades reais das culturas. Por conseguinte, nos controladores convencionais de rega, muitas vezes as dotações não são ajustadas ao longo do ciclo vegetativo e reprodutivo das culturas, o que resulta em situações de excesso ou de défice hídrico, quando as plantas mais precisam. Paralelamente, a variabilidade climática que existe entre os anos, não é compatível com a utilização da “média” das necessidades hídricas das culturas que será, com certeza desajustada da realidade atual da cultura. Por outro lado, as disponibilidades de água para a rega são cada vez mais limitadas, pelo que, na maioria dos casos a estratégia a seguir será no sentido da rega deficitária, a qual, exige da parte do gestor da rega um conhecimento técnico científico da cultura de forma a conseguir a máxima rentabilidade da água aplicada. Uma gestão eficaz da rega visa principalmente controlar a profundidade e a frequência rega para satisfazer as necessidades hídricas das culturas, evitando perdas e conservando os recursos hídricos. Atendendo à grande importância económica, ambiental e social da gestão racional da rega, há atualmente diversas soluções ao dispor do agricultor. De uma forma geral, podem classificar-se estes métodos de gestão de rega em métodos baseados na evapotranspiração, no teor de água no solo e no estado hídrico das plantas.

5.2 Gestão da rega com recurso a dados meteorológicos

A gestão da rega do olival com recurso a dados meteorológicos pode ser realizada com recurso a dados diário para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_0) de acordo com a metodologia da FAO Penman- Monteith abordada em 2.2.2. Ao nível de uma exploração agrícola os dados climáticos

diários podem ser obtidos por estações climáticas automáticas instaladas na exploração; contemplando as modernas estações automáticas o cálculo daquele parâmetro climático pela metodologia acima referida. Ao nível de um aproveitamento hidroagrícola de dimensão elevado será necessário ter uma rede de estações meteorológicas dada a variabilidade espacial dos parâmetros climáticos. A informação da evapotranspiração de referência pode também ser obtida na página web (<https://www.ipma.pt/pt/agrometeorologia/et/>) do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), sendo os valores atualizados diariamente e disponibilizados num mapa interativo por concelho, com valores arredondados a uma casa decimal (Figura 19).

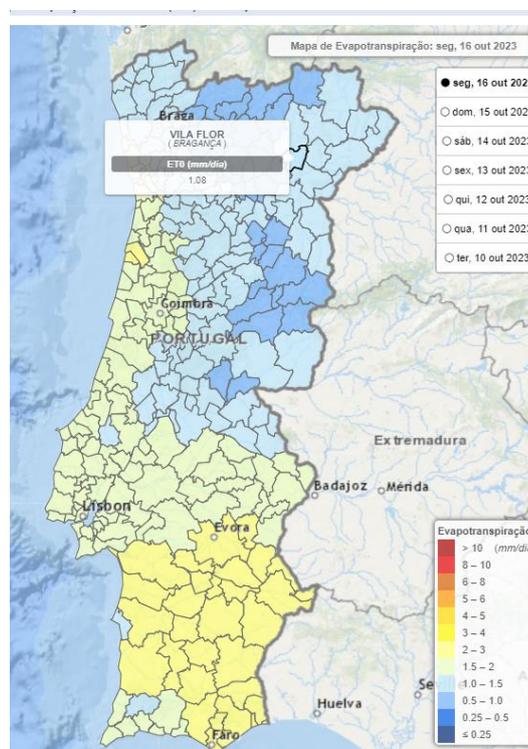


Figura 19. Valores médios diários da evapotranspiração de referência por concelho (IPMA, 2023)

Esta metodologia de gestão da rega visa repor ao solo a água que a cultura extrai para satisfazer as suas necessidades hídricas, ignorando o conteúdo de água armazenado no solo.

5.3 Sensores de medição do teor de água no solo

Uma gestão eficaz da rega visa principalmente controlar a quantidade e a frequência da rega para satisfazer as necessidades hídricas das culturas,

evitando perdas e conservando os recursos hídricos. O solo é o reservatório de água da planta. Este reservatório tem limites superiores e inferiores de água que pode armazenar para uso agrícola. Compreender os diferentes limites de água no reservatório de água do solo é importante para a programação da rega (Figura 20). Sem estes conceitos, o gestor da rega não saberá quanta água aplicar ou quando aplicá-la.

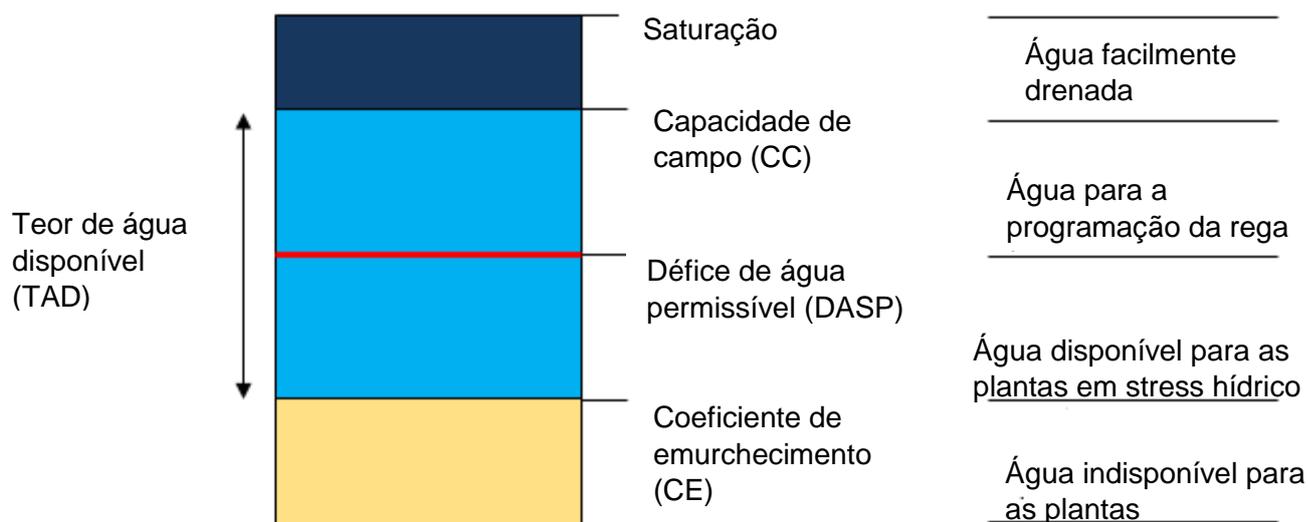


Figura 20. Ilustração da reserva de água no solo.

Saturação: conteúdo de água do solo onde todos os poros do solo são preenchidos com água e a água facilmente percola ou drena da zona radicular pela força gravitacional.

Capacidade de campo (CC): quantidade de água que permanece no solo após todo o excesso de água na saturação ter sido drenado. Normalmente, quando os solos arenosos drenam por aproximadamente 24 horas após a saturação, a capacidade de campo é atingida. Em solos de textura mais pesada, com mais lodo e argila, leva de 2 a 3 dias após a saturação para atingir a CC.

Coefficiente de emurchecimento (CE): quando as plantas absorvem toda a água disponível para um determinado solo, o solo seca a tal ponto que não consegue fornecer água para evitar que as plantas morram.

Teor de água disponível (TAD): é a quantidade máxima de água que o solo pode armazenar para ser extraída pelas plantas. É a água retida entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento. A água total disponível na zona radicular do solo para uma cultura específica é igual à profundidade de enraizamento da cultura multiplicada pela capacidade de retenção de água disponível por unidade de profundidade do solo. No quadro XX apresentam-se diferentes texturas de solo e respetivas características de humidade.

Tabela 7 Valores indicativos dos teores humidade à saturação (θ_{sat}), capacidade de campo (θ_{cc}), coeficiente de emurchecimento (θ_{ce}) e água total disponível (TAD) para uma profundidade de solo de 1 metro.

Classe de Textura	Teores de humidade			TAD ($\theta_{cc} - \theta_{ce}$) x 1000 (mm/m)
	θ_{sat} (m^3/m^3)	θ_{cc} (m^3/m^3)	θ_{ce} (m^3/m^3)	
Arenoso	0,32-0,42	0,10-0,15	0,03-0,06	60-70
Areno-franco	0,32-0,47	0,12-0,18	0,04-0,10	70-90
franco-arenoso	0,34-0,51	0,17-0,26	0,06-0,13	110-130
Franco	0,42-0,51	0,22-0,31	0,09-0,16	130-150
Franco-limoso	0,42-0,55	0,23-0,34	0,08-0,15	150-190
Limoso	0,42-0,55	0,30-0,32	0,09-0,11	200-220
Franco-argilo-limoso	0,40-0,49	0,20-0,30	0,13-0,19	80-120
Franco-argiloso	0,47-0,51	0,28-0,38	0,16-0,22	120-160
Franco-limo-argiloso	0,49-0,53	0,32-0,40	0,16-0,23	160-180
Argilo-arenoso	0,47-0,53	0,28-0,40	0,20-0,30	90-100
Argilo-limoso	0,49-0,55	0,38-0,50	0,22-0,36	150-160
Argiloso	0,51-0,58	0,39-0,55	0,30-0,45	100-130

O objetivo da gestão da rega é o de manter a quantidade de água no solo entre a capacidade de campo (CC) e o limite mínimo permitido para satisfazer as necessidades hídricas da planta, ou seja, o défice de água permissível (DASP), abaixo do qual a planta sofre défice hídrico. As plantas também podem

sofrer de stresse quando o conteúdo de água no solo está acima da capacidade de campo, isto é, na saturação, devido à diminuição do arejamento e à lixiviação de nutrientes. Note-se, que a oliveira é muito sensível à asfixia radicular. Assim, é necessário determinar a quantidade de água disponível no solo para uso das plantas e a quantidade de água a ser aplicada na rega. O conteúdo volumétrico de água (SWC) pode ser usado para calcular a % de depleção de água no solo usando a seguinte expressão:

$$\% \text{ de depleção de água no solo} = \left[1 - \left(\frac{\text{sensor SWC (\%)} - \text{CE(\%)}}{\text{CC(\%)} - \text{CE (\%)}} \right) \right]$$

O esgotamento ou a depleção de água no solo permitido pela gestão da rega possibilita especificar a quantidade máxima de água do solo que o gestor da rega escolhe no intervalo entre rega, e que nunca deve superar o DASP. No caso da oliveira Orgaz e Fereres (2008) indicam que o DASP é de 75% da CC. Vejamos um exemplo:

Então:

$$\text{O DASP} = 0,75 \times (\text{CC} - \text{CE}) \times Z_r$$

- Em que CC é a capacidade de campo, CE o coeficiente de emurchecimento e Z_r a profundidade do sistema radicular (mm)
- Exemplo para um solo de textura franco-argilosa:
 - $\text{CC} = 0,36 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $\text{CE} = 0,17 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$
 - Profundidade do solo = 1 m

$$\text{então DASP} = 0,75 \times (0,36 - 0,17) \times 1000 = 142 \text{ mm}$$

Contudo, na região da Terra Quente Transmontana, caracterizada por solos pouco profundos (< 1 m), com elevada pedregosidade, baixo teor em matéria orgânica (<1%) e fraca capacidade de retenção de água, Silva (2008) observou que o DASP é bem menor ao recomendado por aqueles autores. A investigação realizada por Silva (2008) demonstrou que ao se esgotar a reserva de água no

solo abaixo de 60% da CC a evapotranspiração do olival diminui consideravelmente (Figura 21).

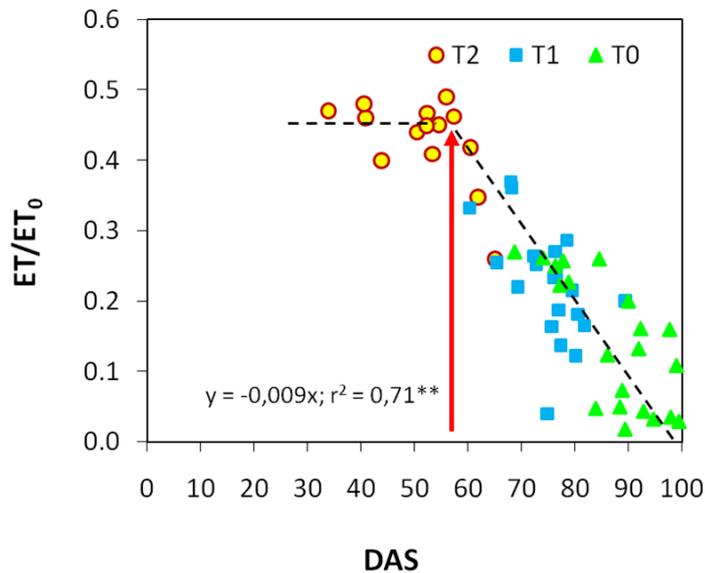


Figura 21. Relação entre a razão da evapotranspiração e a evapotranspiração de referência (ET/ET_0) e o déficit de água (DAS, %) no perfil do solo (0-0,90 m) na cultivar “Cobrançosa” na região da Terra Quente Transmontana (Adaptado de Silva, 2008)

Os sensores de humidade do solo são divididos em duas categorias dependendo da tecnologia que utilizam: 1) Sensores que medem o conteúdo volumétrico de água e 2) Sensores que medem a tensão de água no solo quando colocados no perfil do solo, uma medida de quão disponível a água está para as plantas - em outras palavras, quão difícil é para as plantas extrair a água do solo.

Os sensores de humidade do solo permitem saber a profundidade atingida pela água aplicada em cada rega, definir os parâmetros de gestão da rega, ou seja, quanto regar e quando regar; acompanhar a extração de água pelo olival, fazer uma gestão da rega diferenciada dentro da exploração, consoante as características do solo e também dos olivais.

5.3.1 Conteúdo de água no solo

A monitorização do conteúdo de água no solo apresenta-se como uma das técnicas mais fáceis de utilizar para garantir que o teor de humidade se mantenha dentro dos limites em que a água se encontra facilmente disponível para as plantas. Atualmente existe uma gama diversificada de sensores que podem ser mais ou menos dispendiosos e precisos, e que permitem avaliar de

forma contínua e em tempo real o conteúdo de água no solo, facilitando a programação da rega. Esses sensores podem ser estacionários ou portáteis. Os sensores estacionários são colocados em locais e profundidades predeterminados no campo, enquanto as sondas portáteis de humidade do solo podem medir a humidade do solo em vários locais.

Os sensores eletromagnéticos mais comuns são sensores de capacitância ou sensores de refletometria no domínio da frequência (FDR) e sensores de refletometria no domínio do tempo (TDR).

Sondas TDR (Time Domain Reflectometry): É um método indireto de medição do conteúdo de água no solo, baseado no tempo de viagem de um pulso eletromagnético de alta frequência através do solo, este tempo é utilizado para calcular a permissividade do solo (constante dielétrica). A permissividade do solo está fortemente relacionada com o teor de água devido às propriedades únicas da molécula de água. A constante dielétrica da água é cerca de 80, enquanto a maioria dos componentes sólidos do solo tem constantes dielétricas entre 2 e 7, e a do ar é igual a 1. Consequentemente, a constante dielétrica do solo é um bom parâmetro para usar no cálculo do conteúdo de água do solo. Existem dois tipos principais deste tipo de sondas: um que usa um tubo de acesso guia no qual a sonda desliza, ao mesmo tempo que mede o teor de humidade do solo para cada profundidade (Figura 22) e outro que é constituído por duas ou mais sondas tipo guia (garfos), que se cravam no solo a determinada profundidade medindo o teor de humidade.

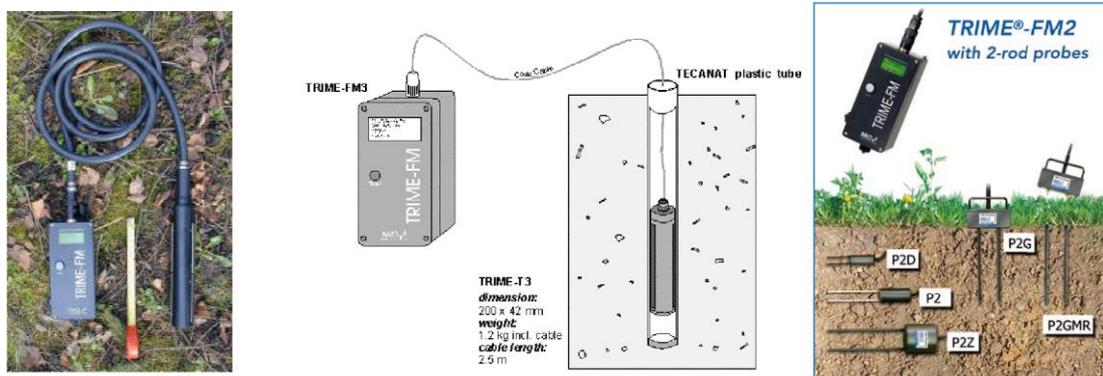


Figura 22. Sondas “Time Domain reflectometry”-TDR. À esquerda: sonda com tubo de aceso; à direita: sonda tipo garfos (Fonte: catálogos dos fabricantes).

Sensores de capacitância: Este método geralmente chamado de FDR (“Frequency Domain Reflectometry”), utiliza a capacitância para medir a permeabilidade dielétrica ou constante dielétrica do solo. A constante dielétrica é uma medida da capacidade da substância de armazenar energia elétrica. As moléculas de água têm uma permeabilidade mais alta do que os minerais do solo e o ar – e quanto maior o teor de humidade do solo, maior a permeabilidade dielétrica e a capacitância. Normalmente, estes sensores têm a forma de duas hastes paralelas (dois elétrodos) (Figura 23) ou um par de anéis metálicos (dois elétrodos) montados ao longo do comprimento de um tubo de PVC (Figura 23). O capacitor ao longo do comprimento do tubo de PVC permite medições simultâneas da humidade do solo em diferentes profundidades. As sondas de capacitância portáteis também permitem medições em vários locais através de tubos de acesso.

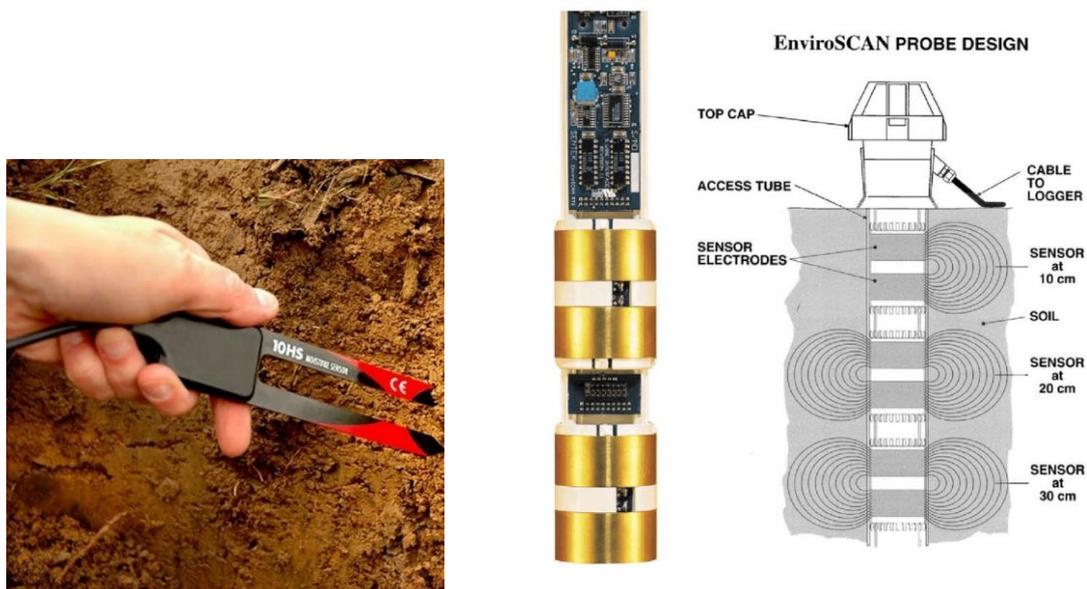


Figura 23. Sensores capacitivos para medição contínua da humidade volumétrica da água do solo. **A-** sonda estacionária de dois elétrodos (ECH₂O (Decagon Devices Inc.); **B** Sonda de domínio de frequência disponível comercialmente: Sonda SentekEnviroSCAN® para medição do perfil de conteúdo de água ao longo de um tubo de acesso (Fonte: catálogos dos fabricantes).

As leituras podem ser exibidas em uma unidade de leitura instantânea – ou transmitidas para um sistema de recolha de dados para análise posterior. Este tipo de sondas permite a monitorização remota de SWC, possibilitando a rega de precisão, pela integração dos dados de SWC, das características do solo e DASP da cultura, através de inteligência artificial (Figura 24).

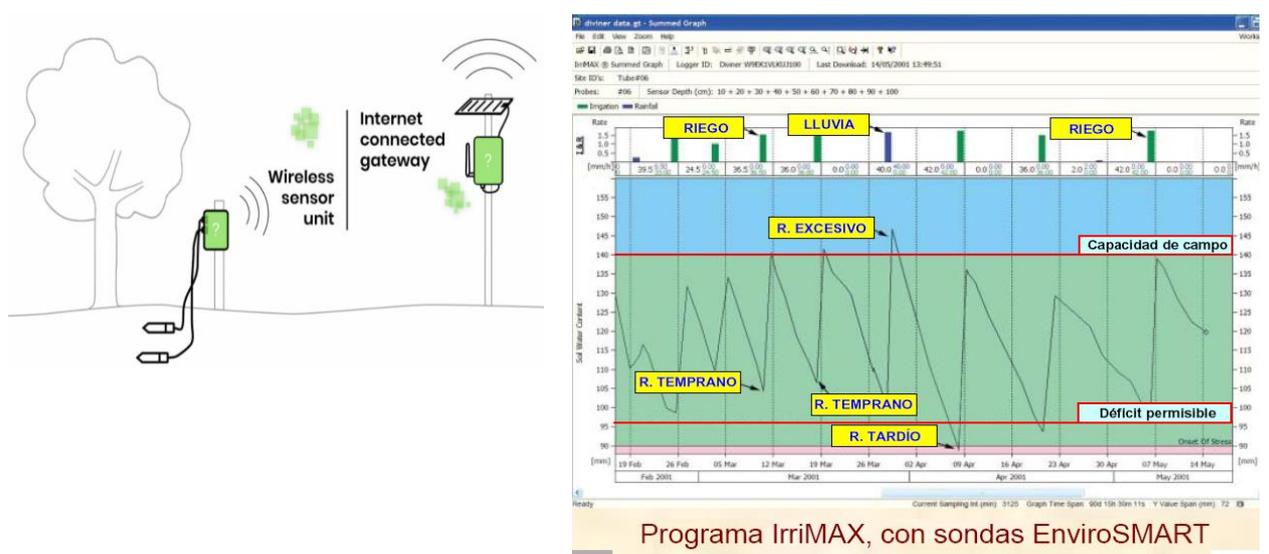


Figura 24- Ilustração da gestão da rega por inteligência artificial; **B-** Gestão rega através de programa Irrimax com sondas enviroScan (imagem à direita de Enrique Fernández, CSIC)

5.3.2 Sensores de medição da tensão de água no solo

Entres os diversos sensores (tensiómetros, blocos de gesso, etc..) que podem ser utilizados para avaliar a força com que a água está retida no solo serão aqui abordados os blocos de resistência elétrica por serem os mais utilizados para a condução da rega. Estes sensores estimam indiretamente a tensão do solo medindo a resistência elétrica entre dois elétrodos embutidas em um bloco de gesso ou material especial que mantém o seu teor de humidade em equilíbrio com o solo adjacente (Figura 25). A resistência elétrica dentro do bloco varia com o teor de água do solo. A curva de calibração do fabricante converte a leitura em tensão do solo. Portanto, o funcionamento destes sensores é baseado na determinação da resistência oferecida à passagem de uma corrente elétrica entre dois elétrodos, ou seja, quanto menor a resistência maior será o teor de água no bloco/solo. Esses sensores podem ser colados em um tubo de PVC para facilitar a instalação em profundidades maiores.

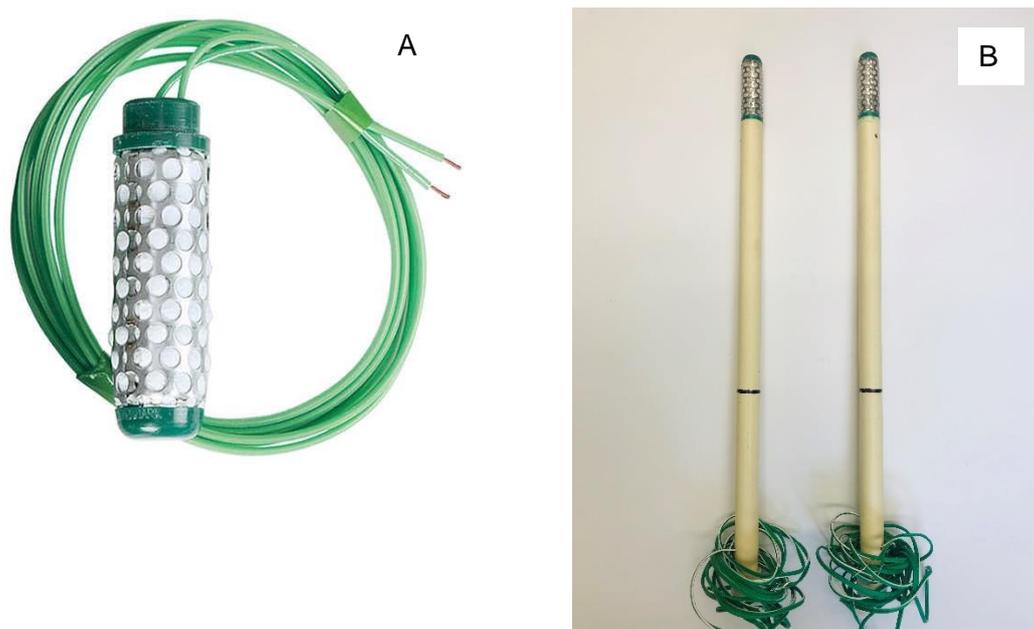


Figura 25 A- Watermark sensor de resistência elétrica de matriz granular; B- Sensores colados nu tubo de PVC para facilitar a instalação.

Os cuidados a ter com a instalação destes sensores são:

- Determinar quantos locais de monitorização devem ser instalados (tipo de solo, topografia, variedades, etc.)
- Abrir um furo com uma sonda (diâmetro de 20 mm)
- Humedecer o furo e colocar “papa” no fundo do furo
- Instalar dois a três sensores em cada local, consoante a profundidade radicular das oliveiras;
- Em cada local, devem ser instalados no limite da projeção da copa da oliveira;
- Devem ser colocados no bolbo húmido do gotejador, por isso, deve-se iniciar a rega uns dias antes de colocar os sensores
- Em solos arenosos, os sensores devem estar mais próximos do gotejador, devido ao menor diâmetro do bolbo húmido neste tipo de solo
- Em solos mais argilosos, os sensores devem ficar mais afastados do gotejador em comparação com os solos com texturas mais ligeiras, uma vez que o bolbo de solo humedecido pelo gotejador é mais largo.
- O ideal será ter no mínimo quatro sensores em cada local de amostragem

Relativamente à profundidade de instalação para a gestão da rega, o ideal será ter no mínimo quatro sensores a diferentes profundidades em cada local de amostragem, dos quais três devem estar localizados na zona de maior extração de água pela oliveira, podendo ser a 15 cm, 30 cm e 50 cm de profundidade, e o terceiro abaixo do limite da zona de desenvolvimento radicular, por. ex a 70 a 80 cm, recomendando-se abrir uma cova ou fazer uma sondagem para melhor perceber a profundidade do solo. Na prática, o sensor a maior profundidade define a duração (tempo em horas) máxima de cada rega, que varia ao longo do ciclo da cultura, consoante as condições ambientais e a extração de água pela oliveira – diz-nos quando parar de regar e qual a dotação (em mm) de cada rega. Os três sensores na zona radicular de maior absorção de água permitem gerir a quantidade de água disponível para a oliveira – dizem-nos quando começar a regar, variando consoante o momento do ciclo da oliveira. Na Tabela 8 é apresentada a interpretação das leituras.

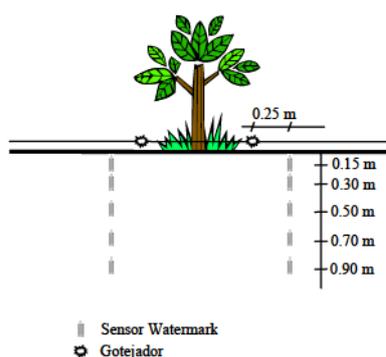


Figura 26. Ilustração da instalação de sensores watermark em diferentes profundidades para a gestão da rega no olival (Fonte: COTR s/d)

Tabela 8. Interpretação das leituras de sensor Watermark

Leitura (cbar)	Interpretação
0 a 10	Solo saturado
10 a 30	Solo com suficientemente húmido (CC)
30 a 40	Iniciar a rega (solos arenosos)
40 a 50	Iniciar a rega (solos francos)
50 a 60	Iniciar a rega (solos argilosos)
70 a 80	Teor crítico cultural
>80	Plantas em stress hídrico

Em geral:

- Em solos arenosos, dotações menores e intervalos mais curtos entre regas
- Em solos mais argilosos, dotações maiores e intervalos mais longos entre regas

5.4. Estado hídrico da planta

Os tecidos das plantas contêm em cerca de 70 a 90% de água a qual varia ao longo do seu ciclo vegetativo e também ao longo do dia. A quantidade de água presente nos tecidos num dado momento é resultado de três fatores principais: a disponibilidade de água que a planta pode absorver, a perda de água para a atmosfera por transpiração a que a planta está sujeita pelas condições meteorológicas e o controlo que a planta pode exercer sobre o fluxo de água das raízes para as folhas e destas para a atmosfera (Figura 27).

Nas plantas terrestres, a disponibilidade de água para ser absorvida é a que existe no solo. A transpiração das plantas é resultante da maior ou menor capacidade da atmosfera em receber água na forma de vapor de água e que varia sobretudo com a intensidade da radiação solar, da temperatura e da humidade relativa do ar. Por sua vez, a planta pode regular a passagem da água pelos estomas, que são a porta de saída da água transpirada e a entrada de CO₂ para a fotossíntese, fechando os estomas se a transpiração for muito elevada e colocar em risco a hidratação dos tecidos. Assim, quando as disponibilidades de água são elevadas e as condições atmosféricas amenas, a planta mantém os estomas abertos e a água flui do solo para as raízes, destas para as folhas e posteriormente para a atmosfera. O fluxo de água evaporada regula a temperatura da própria planta enquanto entra CO₂ para o ciclo fotossintético. Se as disponibilidades baixarem e/ou as exigências atmosféricas forem excessivamente elevadas, os tecidos perdem hidratação e, a partir de certo ponto, as plantas fecham os estomas.

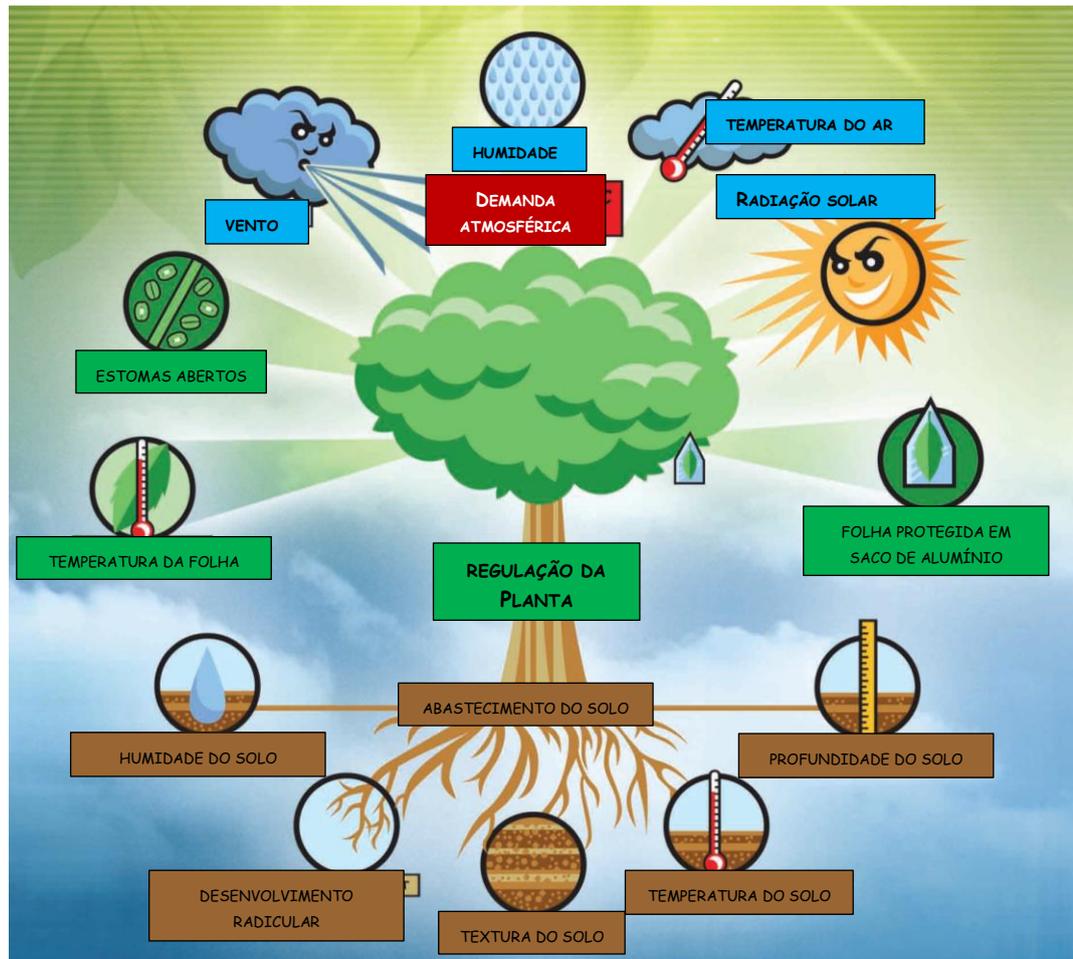


Figura 27. Ilustração das relações solo planta atmosfera (Adaptado www.PMSInstruments.com)

Existe um momento diurno em que as condições atmosféricas são pouco exigentes para evaporar água e as plantas podem manter os estomas abertos: após o nascer do sol e durante as primeiras horas da manhã. Outro momento importante é o meio dia solar quando as exigências atmosféricas são mais elevadas, os tecidos perdem água, que não pode ser compensada pela absorção e as plantas tendem a fechar os estomas. Logo, o estado de hidratação dos tecidos, face às condições meteorológicas, em cada um desses momentos será determinado pela disponibilidade de água no solo. Assim, conhecendo o estado de hidratação dos tecidos podemos então avaliar se o solo tem água suficiente para as necessidades da planta.

Quando se instalam sensores na planta, estes medem direta ou indiretamente o estado hídrico da planta. As medições da água do solo são úteis para o planeamento da rega, mas a vantagem das medições baseadas nas plantas reside no uso da planta como um biossensor, que integra o estado da

água do solo e da atmosfera, bem como a resposta fisiológica da planta à água disponível.

O estado de hidratação pode ser conhecido diretamente pelo teor relativo de água (RWC) nas folhas, que são os órgãos mais sensíveis. Contudo, a medição do RWC é um processo demorado, trabalhoso e os resultados obtidos de forma diferida no tempo. Em contrapartida, o estado hídrico da planta pode ser avaliado de forma indireta pelos seguintes indicadores: condutância estomática, potencial hídrico, temperatura do copado, fluxo de seiva, variação do diâmetro do tronco. Será dada atenção a estes últimos quatro indicadores.

5.4.1 Potencial hídrico foliar

O conhecimento indireto do estado hídrico pode ser obtido pela força (energia) com que a água é retida nos tecidos. Se os tecidos estiverem bem hidratados, uma pequena pressão exercida sobre eles é capaz de lhes retirar umas gotas de seiva, mas quanto mais desidratados estiverem maior será a pressão necessária para lhes retirar a seiva. A energia de retenção (tensão) é igual, mas de sinal contrário à pressão necessária para extrair a seiva; ou seja, se for necessária uma pressão de 1MPa para retirar uma gota de seiva de uma folha significa que a tensão da água na folha é de -1MPa. A tensão da água na folha é conhecida como Potencial Hídrico Foliar (PHF) e representado por Ψ_f .

A medição de Ψ_f é simples e rápida, mas exige equipamento dispendioso. Na Figura 28 é possível visualizar o equipamento de medição (câmara de pressão ou bomba de Scholander) e o esquema de procedimento.



Figura 28. Câmara de pressão de Scholander (esquerda.) e esquema de procedimento de medição (centro e direita).

A pressão dentro da câmara aumenta por injeção de um gás, em geral azoto, até uma gota de seiva sair pelo pecíolo. O manómetro dará a leitura da pressão e Ψ_f será igual ao valor negativo dessa pressão. Exemplo dos valores de Ψ_f ao longo do dia e em duas fases do ciclo vegetativo estão exemplificados na figura seguinte (Figura 29).

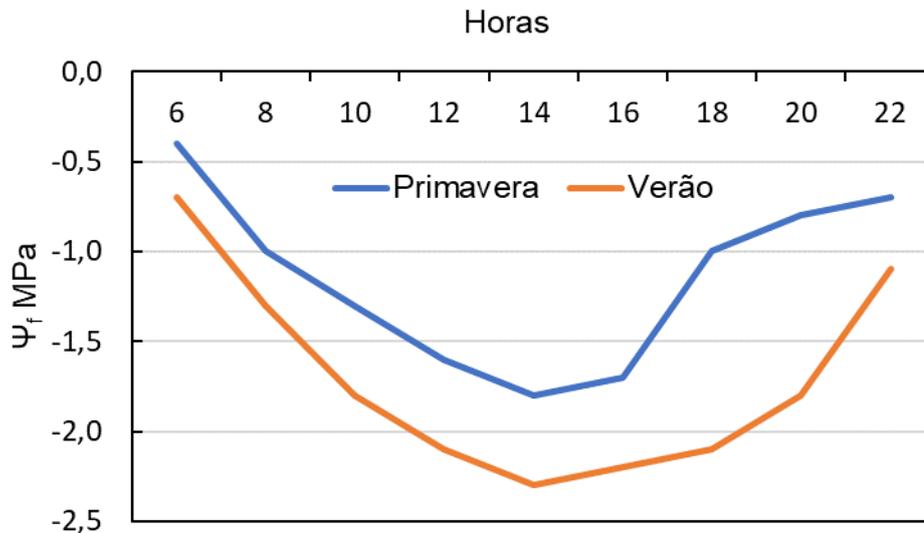


Figura 29. Variação do potencial hídrico foliar ao longo do dia, num dia típico de Primavera e de Verão, na oliveira em condição de ausência de stress hídrico.

Na primavera, quando o solo tem grande disponibilidade de água e as condições meteorológicas são amenas, o PHF ao nascer do solo aproxima-se de 0 pois a planta recupera a água que perdeu durante o dia anterior. Com o avançar do dia, os tecidos perdem alguma da sua turgidez e o PHF torna-se mais negativo. No verão, o solo poderá ter pouca disponibilidade de água e as condições meteorológicas favorecem o acréscimo de transpiração, as plantas têm dificuldade em recuperar a turgidez durante a noite e o PHF ao nascer do solo já não se aproxima de 0; no período do dia de temperatura mais elevada, o valor do PHF torna-se muito negativo.

As fases de crescimento vegetativo, floração, vingamento da azeitona e acumulação de gordura são muito sensíveis ao stress hídrico e sempre que os PHF ao nascer do dia não se aproximem de 0 e ao meio dia solar atinjam valores próximos ou inferiores a -2,5 MPa significa que no solo não há disponibilidade de água suficiente para as necessidades das plantas e deverá haver reposição

pela rega. A Figura 30 mostra a relação entre o potencial hídrico medido antes do nascer do sol e o teor de água disponível no solo, observada para um olival de Cv. “Cobrançosa” num olival no vale da Vilarica, próximo de Alfândega da Fé (Vilarelhos). Da figura é possível inferir:

(Ψ_B): > -0,70 MPa ausência déficit hídrico (rega plena);

- (Ψ_B): -0,70 MPa a -2,0 MPa déficit hídrico moderado (rega deficitária ligeira);
- (Ψ_B): < -2,0 MPa déficit hídrico severo (rega deficitária moderada a severa)
- (Ψ_B): < -4,0 MPa extremamente severo (rega deficitária muito severa ou sequeiro);

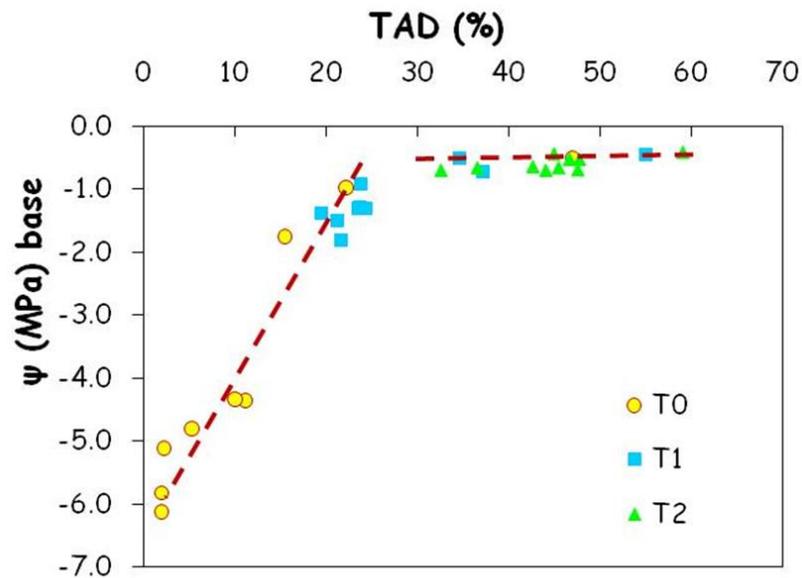


Figura 30. Relação entre o teor de água disponível (TAD) e o potencial hídrico de base na Cv. Cobrançosa na região da Terra Quente Transmontana (Adaptado: Silva, 2008).

Estes valores permitem tecer as seguintes considerações para a gestão da rega:

- para manter a oliveira em ausência de stress hídrico, deve-se satisfazer as NR do olival, mantendo o potencial hídrico de madrugada acima de -0,7 MPa e o do meio dia solar acima de -2,5 MPa;
- regar de forma deficitária, permitindo o desenvolvimento de um déficit hídrico suave o potencial hídrico de madrugada deve manter-se acima de -1,8 MPa e ao meio dia solar acima de -3,5 MPa.

5.4.2 Temperatura do copado

À medida que a radiação solar é absorvida pelas folhas, a sua temperatura aumenta. Para manterem a sua temperatura no ponto ótimo, as folhas procuram dissipar a energia térmica através da transpiração. A transpiração reduz a temperatura do copado em relação ao ar ($T_c < T_a$) circundante por evaporação da água. A utilização da temperatura do copado para a deteção do stress hídrico baseia-se no pressuposto de que, à medida que a disponibilidade da água no solo fica limitada há uma redução correspondente da transpiração e a temperatura das folhas aumenta. Se a planta estiver a transpirar livremente em condições de ausência de stress hídrico, a temperatura do copado é inferior à do ar ($T_c < T_a$), mas assim que a planta fecha os estomas em resposta ao défice hídrico, a temperatura do copado aumenta e ultrapassa a temperatura do ar ($T_c > T_a$). Durante o dia, quanto mais cedo a planta fechar os estomas e mais tarde os abrir, maior será a intensidade do défice hídrico a que está sujeita, menor será a sua produção fotossintética, logo, há possibilidade de redução da produção. Com o desenvolvimento de termómetros de infravermelhos precisos e económicos, tornou-se possível medir a temperatura das folhas para avaliar o seu estado hídrico. Condições de céu limpo, sem vento são as ótimas para as determinações de campo, sendo o meio dia solar o período ideal do dia para realizar as medições para obter informação sobre o estado hídrico. A título de exemplo, refere-se os trabalhos de García-Tejero et al. (2017), que indicam ser possível gerir a rega do olival a partir de informação da diferença entre a temperatura da canópia e a temperatura do ar, $T_c - T_a$, tomando como valor limiar próximo de zero para o desenvolvimento de stress hídrico suave. A temperatura do copado pode ser obtida de forma pontual por câmaras portáteis tipo que exigem o posterior tratamento da imagem de temperatura obtida, ou de forma continua por sensores infravermelhos colocados acima do copado (Figura 31).



Figura 31. Imagem térmica obtida por câmara portal de infravermelhos (García-Tejero et al., 2017).

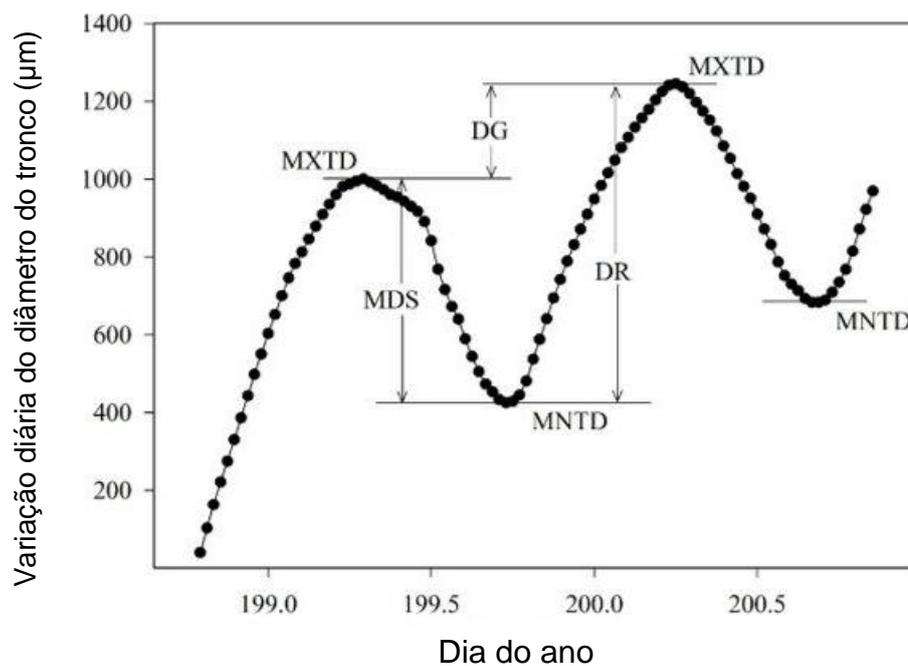
5.4.3 Variações no diâmetro do tronco.

O diâmetro do tronco varia consoante o nível de hidratação da planta, pelo que as variações diárias do diâmetro tronco (TDV) são utilizados no olival, bem como em muitas outras espécies, tanto para avaliar o stress hídrico como para programar a rega (Cuevas et al., 2010, Fernández et al., 2011; Girón et al., 2015). Durante a noite, a transpiração da oliveira é insignificante, uma vez que os estomas fecham após o pôr do sol e a epiderme da folha é coberta por uma cutícula cerosa que evita perdas de água pela superfície foliar. Assim, durante a noite a oliveira reidrata-se, absorvendo a água do solo e acumulando-a nos tecidos de armazenamento, de modo a que o diâmetro do tronco aumenta. No início da manhã os estomas abrem-se e a água é perdida por transpiração, o que faz com que o diâmetro do tronco diminua. Num ciclo diurno, o diâmetro do tronco pode variar de algumas dezenas de micrómetros a algumas centenas de micrómetros. Os dendrómetros são sensores capazes de registrar essas variações de forma contínua e automática (Figura 32). Os dados registados têm um elevado potencial para a programação da rega (Girón et.al. 2015). Da variação diária do diâmetro tronco podem-se derivar vários indicadores de stress

hídrico, dos quais a contração máxima diária (MDS) e a taxa de crescimento diária do tronco (Figura 33) são indicados como bons indicadores para várias espécies de árvores de fruto, nomeadamente a oliveira (Fernández, 2017).



Figura 32- Dendrómetro transdutor linear de deslocamento variável (sensores LVDT) instalado em tronco de oliveira para programação da rega.



MXTD = diâmetro máximo do tronco

MNTD = diâmetro mínimo do tronco

$MDS_{dia} = \text{contração máxima diária do tronco} = MXTD_{dia} - MNTD_{dia}$

$DR = \text{restabelecimento diário} = MXTD_{dia-1} - MNTD_{dia-1}$

$DG = \text{crescimento diário} = MXTD_{dia+1} - MXTD_{dia-1}$

Figura 33. Flutuações diárias do diâmetro do tronco (Adaptado: Fernández e Cuevas, 2010).

Hoje em dia os sensores LVDT são capazes de medir as flutuações diárias do diâmetro do tronco com grande precisão, gerando sensibilidade parâmetros que, em geral, se correlacionam fortemente com os parâmetros do estado da água da planta. Além disso, a facilidade com que os sensores LVDT podem ser informatizados e a sua conexão remota a sistemas automáticos para a programação da rega é outra característica positiva do TDF para a gestão da rega (Ortuño et al., 2010). Contudo, os dados brutos do dendrómetro não são fáceis de interpretar, requer calibração para determinar um limite de stress que indica quando é necessário regar. Por isso, esta tecnologia não é fácil de utilizar pelo olivicultor, requerendo pessoal técnico qualificado para a instalação dos sensores, calibração e para a interpretação dos resultados.

5.4.4 Fluxo de seiva

O fluxo de seiva (SF) é o movimento de fluídos (água e nutrientes) através da planta, e que pode ser utilizado como indicador da transpiração da planta. Uma planta saudável que transpira ativamente tem valores altos de fluxo de seiva. O fluxo de seiva diminuirá à medida que a planta passa de um ciclo de conforto hídrico para um ciclo de stress hídrico.

O fluxo de seiva muda em resposta às condições climáticas, pois está diretamente relacionado com a transpiração. Num ciclo diurno, é maior durante o dia, quando as plantas estão a transpirar ativamente, e baixo durante a noite, quando ocorre pouca ou nenhuma transpiração. O pico do fluxo de seiva irá diminuir se a planta entrar em stress hídrico e pode ajudar a indicar quando é necessário um evento de rega (Figura 34).

Os sensores para a medição do fluxo de seiva são instalados no xilema da planta no tronco, pernadas principais e nos ramos, e medem a velocidade do fluxo de seiva. Para traduzir as leituras dos valores de fluxo de seiva em litros por hora são utilizados fatores de conversão. O fluxo de seiva pode ser registrado continuamente para determinar a quantidade de água usada (transpirada) pela planta a cada dia.

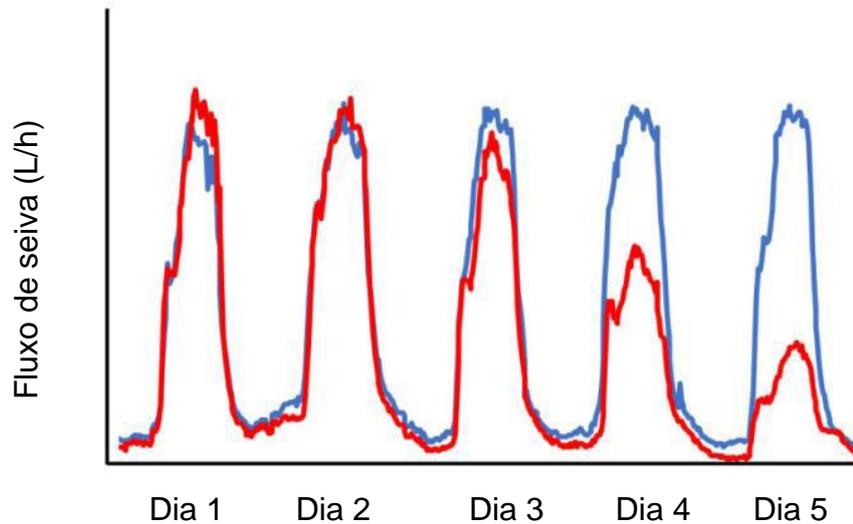


Figura 34. Padrões diários de fluxo de seiva para duas árvores. A linha vermelha mostra uma árvore que está a entrar stress hídrico no dia 3. (

A maioria das abordagens para programar a rega a partir de medições relacionadas com o SF requer pessoal qualificado para a instalação e manutenção do sistema, e para o processamento de dados. As medições do fluxo de seiva são calculadas em litros por hora ou por dia, mas podem ser convertidas em mm/dia.

Os sensores de fluxo de seiva são invasivos e causam danos à árvore. Para a maioria dos sensores, os fatores de correção devem ser aplicados para explicar os efeitos da sonda desalinhamento, ferimento e difusividade térmica, caso contrário, pode haver erros significativos no fluxo de seiva medido. Nos sensores mais modernos estes erros têm sido menos problemáticos. Os sensores devem ser protegidos da luz solar direta e calor externo para evitar erros (Figura 35)



Figura 35. Sensores de fluxo de seiva em tronco de oliveira (à esquerda); proteção dos troncos das oliveiras com sensores de fluxo de seiva (à direita)

5.5 Deteção remota

Os sistemas de observação do território com alta capacidade de resolução temporal, alguns dos quais de livre acesso como o European Sentinel-2B, permitem combinar a deteção remota com dados cadastrais e agronómicos. Outros sistemas de deteção de proximidade permitem maior resolução espacial, mas são de acesso restrito. Estes sistemas fornecem dados que associados a sistemas de informação geográfica (SIG) constituem uma metodologia eficaz para monitorizar, gerir, e otimizar os recursos hídricos e a rega.

A deteção remota baseia-se no fenómeno da energia refletida e emitida pelos corpos, que refletem e ou absorvem a energia radiante de forma diferente consoante as suas características físicas, químicas e geométricas. A análise do padrão da radiação refletida e emitida, a assinatura espectral, permite obter informação diversa sobre as características de um corpo. A assinatura espectral da folhagem das plantas é muito útil para monitorizar e prever stresses bióticos e abióticos, incluindo o stress hídrico. As assinaturas derivadas de medições espectroscópicas possibilitam a construção de índices de vegetação que permitem inferir sobre a resposta das plantas a fatores ambientais. A deteção remota hiperespectral proporciona mais de 200 bandas de comprimento de onda

que fornecem informação sobre as propriedades químicas e biológicas de diversos materiais. Os sensores hiperespectrais são sensíveis à radiação entre os comprimentos de onda dos 350 nm aos 2500 nm (Figura 36), cobrindo as frequências da luz visível (VIS: 380 a 780 nm), próximo do infravermelho (NIR: 780 a 1500 nm) e o infravermelho de ondas curtas (SWIR: 1500 a 3000 μm) .

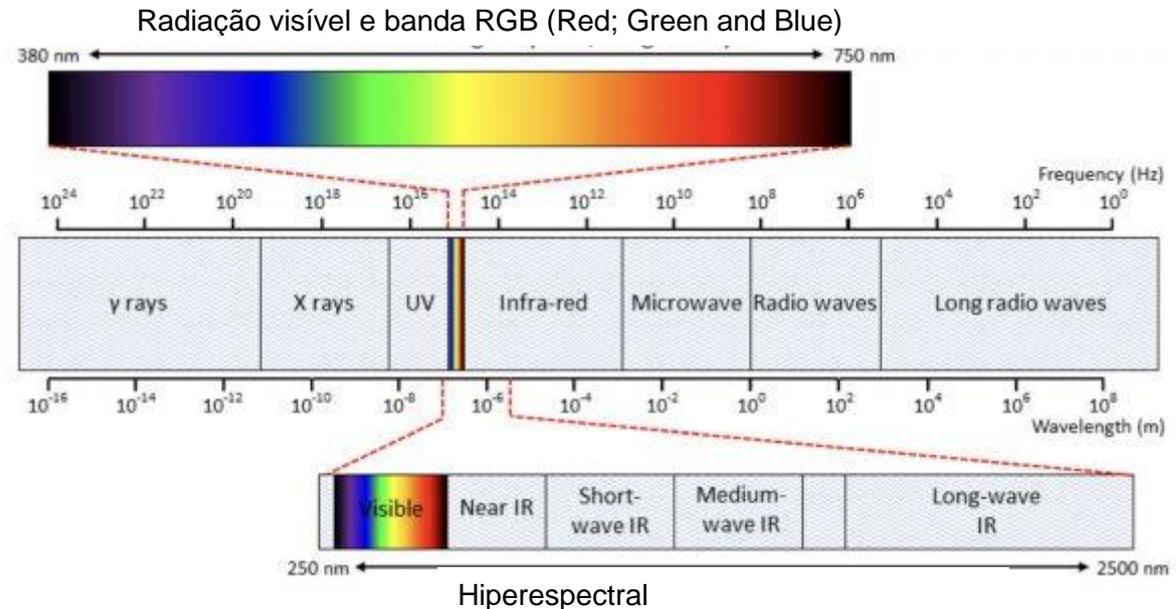


Figura 36. Ilustração do espectro eletromagnético (<https://www.haip-solutions.com/wp-content/uploads/elementor/>)

A deteção remota hiperespectral é sensível a pequenas alterações dos constituintes das folhas e da estrutura do copado e tem sido largamente utilizada para conhecer como o stress hídrico se manifesta e evolui temporalmente. A deteção, em tempo real, do stress hídrico é uma ferramenta essencial na gestão da rega de precisão. Na Figura 37 seguinte é possível observar alterações da reflectância das folhas de uma planta em função de três fatores: pigmentos, estrutura celular e água, sendo que a água é dominante nos comprimentos de onda de 1500 a 1900 nm.

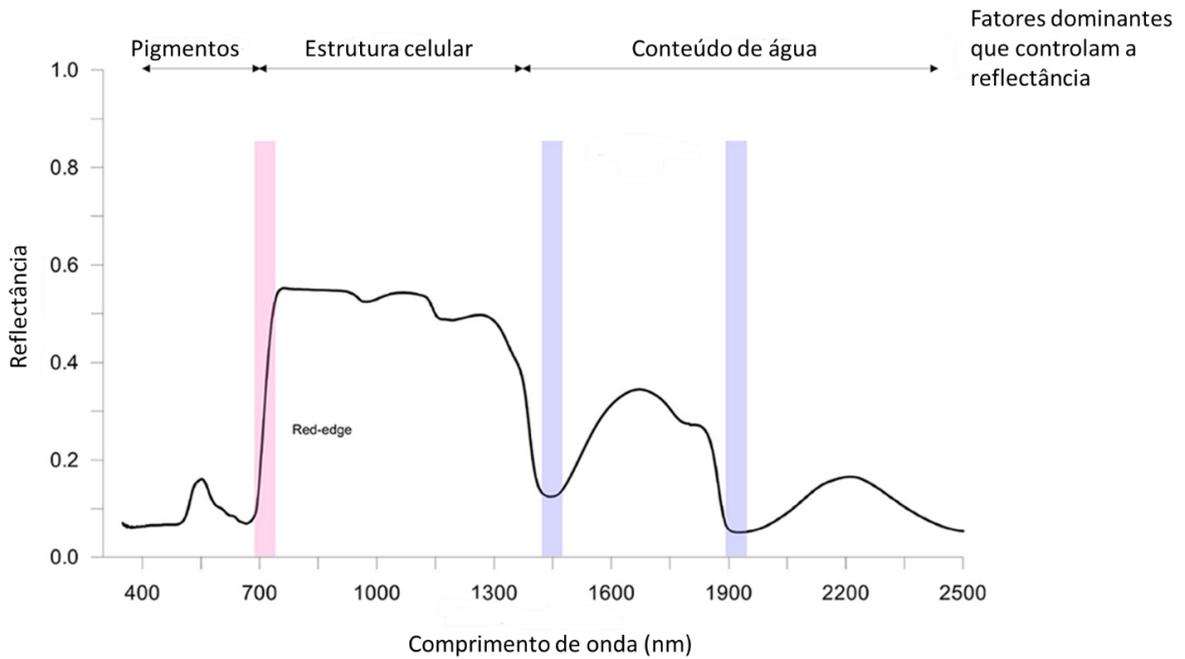


Figura 37. comportamento típico da reflectância de uma folha saudável e em conforto hídrico (adaptado de Galieni et al., 2021).

Quanto maior o stress hídrico a que a planta está sujeita maior será a reflectância da folha, como se pode observar na Figura 38 que mostra a reflectância média da folha da oliveira em condições de diferente disponibilidade de água.

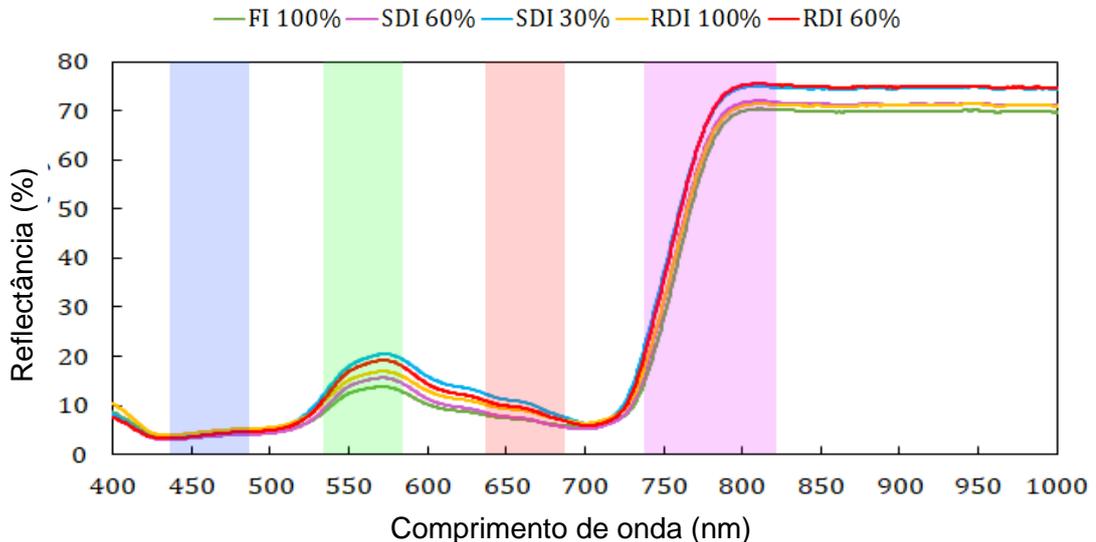


Figura 28. Valores médios da reflectância da folha da oliveira em condições de diferentes estratégias de rega (FI = ausência de stress, SDI rega deficitária contínua com 60 e 30% da evapotranspiração, e RDI rega deficitária controlada, 100%ET e 60%ET) (Marques et al., 2021)

Nas últimas duas décadas, a interpretação de índices de vegetação (VI) obtidos por imagens aéreas, por técnicas de deteção remota, recolhidas por veículos aéreos não tripulados (drones), ou por imagens de satélite, têm sido cada vez mais utilizados para monitorizar e mapear a variação espacial e temporal em tempo real da ET e, portanto, para calcular as necessidades hídricas das culturas. Uma das abordagens mais utilizadas considera a relação entre os índices de vegetação (VI) derivados de dados de reflectância da deteção remota e os coeficientes culturais (reais), K_c ou K_{cb} (coeficiente basal ou de transpiração). A base desta abordagem depende da estreita correlação de vários VI e as características biofísicas das plantas, por exemplo, índice de área foliar (IAF), fração de cobertura do solo (GC), biomassa e processos fisiológicos dependendo da absorção de luz pelo coberto vegetal (por exemplo, Glenn et al., 2008; 2011; Johnson et al., 2012; Marques et al., 2023). Usando os coeficientes culturais baseados em VI permite também obter informação sobre a variação espacial do K_c ou K_{cb} real dentro da parcela. A aplicação ao olival e a outras culturas, tem-se baseado na abordagem do coeficiente cultural dual da cultura para a determinação da ET, que distingue entre transpiração das culturas e evaporação da superfície do solo (Allen et al., 1998):

$$K_c = K_{cb} + K_e$$

onde K_{cb} é o coeficiente basal da cultura e determina a transpiração da cultura e K_e é coeficiente de evaporação do solo.

Destes, destacam-se os Índices de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI (French et al., 2020) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI, (Huete, 1988)) entre os VI mais comumente usados para estimar o K_c e o K_{cb} reais. A formulação de ambos os VI combina a luz refletida nas bandas do vermelho (RED) e do infravermelho próximo (NIR), proporcionando assim medida indireta da absorção da luz vermelha pelas clorofilas (a e b) e da reflectância do NIR pela estrutura mesofílica das folhas Glenn et al. (2011), como se pode observar nas seguintes expressões

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

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L)$$

NIR – Faixa espectral na região do infravermelho próximo (760-900 nm);

Red – Faixa espectral na região do vermelho (630-690 nm)

L- fator de normalização do solo, geralmente igual a 0,5 (Huete, 1988)

Para o caso do olival Poças et al. (2015) propuseram a seguinte expressão para o cálculo do K_{cb} a partir de VIs obtidos de imagens de satélite

$$K_{cb\ VI} = K_{cb\ cover} + K_d \left(\frac{VI_i - VI_{min}}{VI_{max} - VI_{min}} \right)$$

Onde VI_i corresponde ao VI ($NVDI$ ou $SAVI$) para uma data específica e pixel, VI_{max} é o VI para a máxima cobertura do solo; VI_{min} é o VI para a mínima cobertura do solo (solo nú), $K_{cb\ cover}$ corresponde ao K_{cb} da cobertura do solo na ausência de folhagem da árvore; K_d é o coeficiente de densidade (Poças et al., 2015). Neste estudo, os autores observaram que a estimativa do K_{cb} a partir do VI SAVI foi conseguida com maior precisão do que quando se utilizou o VI NVDI, pelo fato de que o índice SAVI é menos sensível à variabilidade da reflectância do solo do que o NVDI. Assim, as imagens espectrais, adquiridas por imagens satélites, possibilitam perceber a evolução do K_{cb} da cultura ao longo do ciclo, bem como, detetar variações entre zonas numa mesma parcela, permitindo o cálculo diferenciado das necessidades hídricas em parcelas grandes cobertas pelas imagens aéreas, dando cumprimento à dupla questão de quando regar e quanto regar, no âmbito da agricultura de precisão aplicada à rega.

5.6 Considerações finais

A gestão e programação da rega são hoje em dia aspetos decisivos para a otimização dos recursos hídricos e garantir a sustentabilidade do regadio. A tecnologia disponível para a gestão e programação da rega tem-se tornado mais diversificada e sofisticada. Os sensores baseados nas plantas fornecem uma medida integrada da resposta da planta às condições ambientais para auxiliar na tomada de decisão do momento oportuno da rega. Estes dispositivos complementam outras tecnologias para a programação da rega, como seja a monitorização da humidade do solo, obtendo-se informação mais precisa sobre quando regar e quanto regar.

6 Estratégias para melhorar o desempenho da colheita mecânica em olivais tradicionais regados



6. Estratégias para melhorar o desempenho da colheita mecânica em olivais tradicionais regados

Arlindo Almeida

6.1 Introdução

A modernização da olivicultura tem sido norma por todo o mundo onde esta cultura tem importância estratégica. Novas práticas têm-se expandido num ritmo constante durante os últimos vinte anos, aumentando a competitividade do sector. A rega eficiente é uma dessas práticas. A mecanização total do olival é outra. Alcançar altos níveis de eficiência da colheita é essencial para a rentabilidade da indústria. Neste capítulo são analisadas estratégias de colheita mecânica em olivais regados que podem contribuir para melhorar o rendimento económico do agricultor. Dois aspetos fundamentais são aqui apresentados: a eficiência da colheita mecânica e a capacidade de trabalho dos equipamentos utilizados.

6.2. Eficiência de colheita

Por eficiência da colheita mecânica, entende-se a percentagem de frutos removidos (colhidos) relativamente à produção total (Ferguson 2006), (Ravetti *et al* 2014). Interessa que este valor seja o mais elevado possível a fim de obter melhor retorno líquido dos agricultores. Para alcançar este objetivo, devem ser conhecidos os fatores que afetam a colheita mecânica da azeitona. Os principais fatores relacionados com o olival são a forma da árvore, a densidade da copa, os métodos de poda e a cultivar (Ferguson, 2006). Outros são relacionados com o desempenho mecânico dos equipamentos, aspeto que não vamos aqui desenvolver.

De entre os fatores ligados à cultivar, a força de remoção do fruto (FRF), o peso do fruto (P) e a razão entre eles (FRF/P) são de particular importância para a eficiência da colheita (Tombesi 1990, Kouraba *et al* 2004; Ferguson 2006, Farinelli *et al* 2012). Esses fatores afetam a eficiência da colheita mecanizada e também podem ser usados como mais um indicador para definir o melhor período de colheita (Ferguson, 2006).

6.2.1. Evolução da relação FRF (força para a remoção dos frutos)/P (peso dos frutos).

Esta avaliação deve ser feita ao longo do período de maturação, para as diferentes cultivares e estratégias de rega e também para olivais não regados. A medição da força necessária para a remoção dos frutos pode ser feita com um dinamómetro modificado Chatillon Modelo DPP – 2,5 kg (Figura 39). O peso dos frutos pode ser avaliado com uma balança analítica laboratorial.



Figura 39. Dinamómetro para avaliação de FRF.

É expectável que a relação (FRF/P) tenha valores predominantemente descendentes nas semanas que antecedem a colheita em consequência da descida dos valores de FRF e subida dos valores de P. Quanto mais baixo for este valor (FRF/P), melhor será a eficiência de colheita, logo maior será a quantidade da produção colhida mecanicamente. Apresentam-se alguns exemplos (Figuras 40 a 44) da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação em olivais na Terra Quente Transmontana em que se utilizaram diferentes dotações de rega (cores azul, castanho e cinzento). As linhas verticais a negro apontam para datas de colheita prováveis, em que é expectável colher com a melhor eficiência.

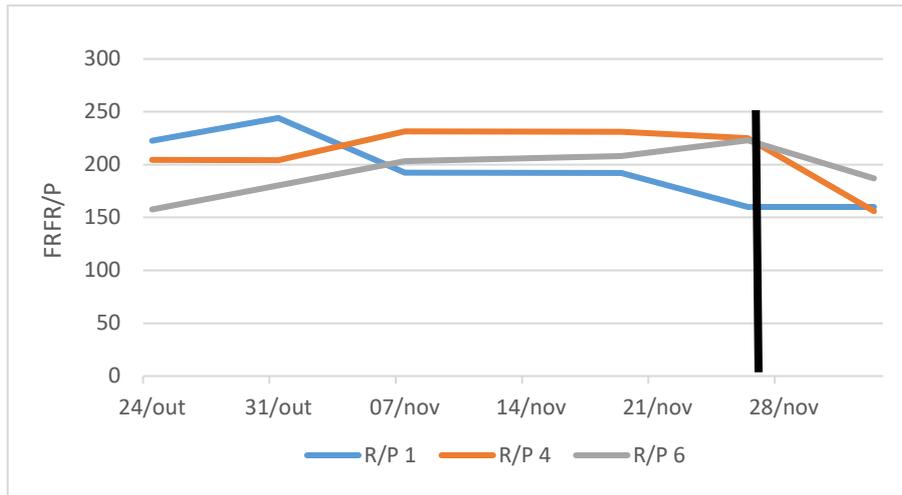


Figura 40. Exemplo 1 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.

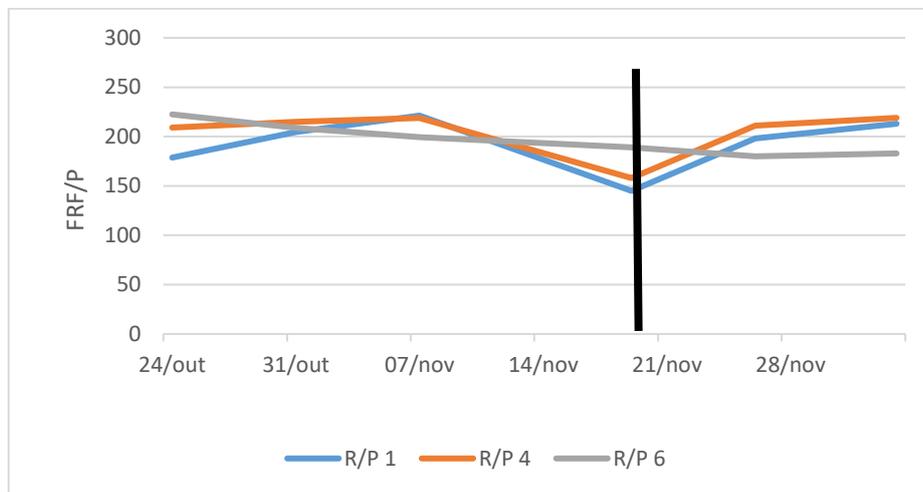


Figura 41. Exemplo 2 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.

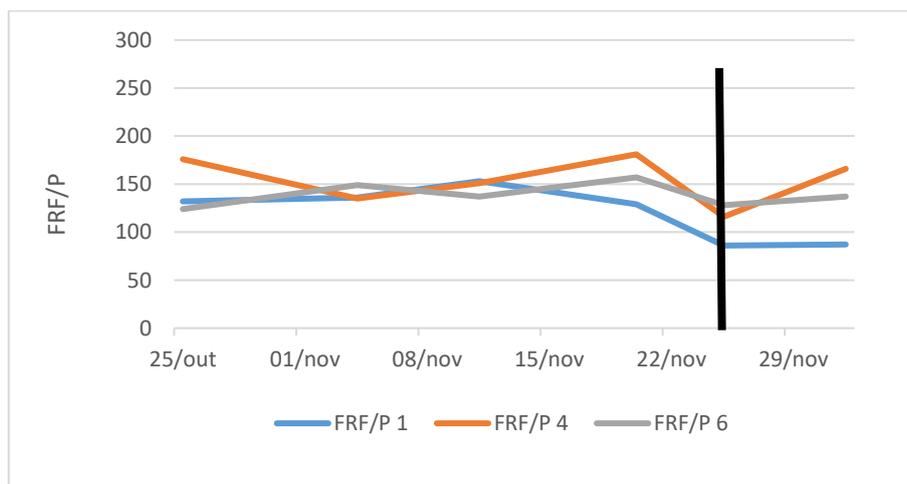


Figura 42. Exemplo 3 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.

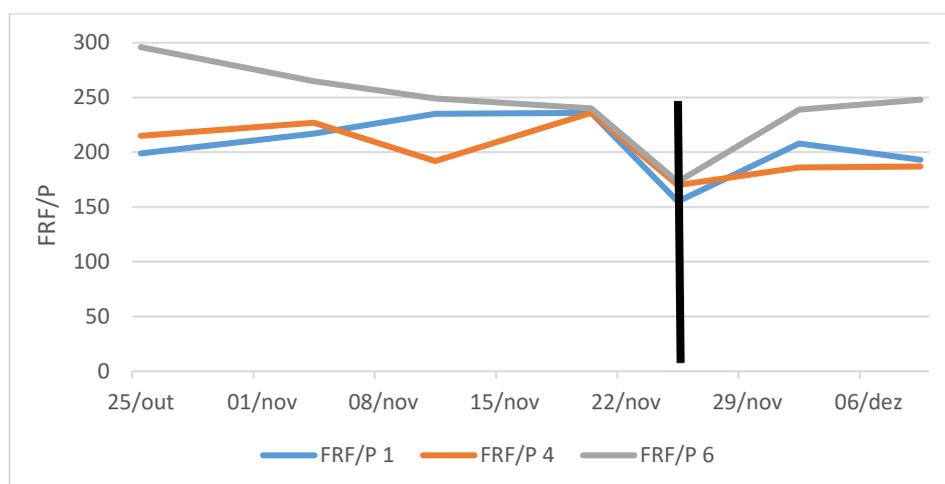


Figura 43. Exemplo 4 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.

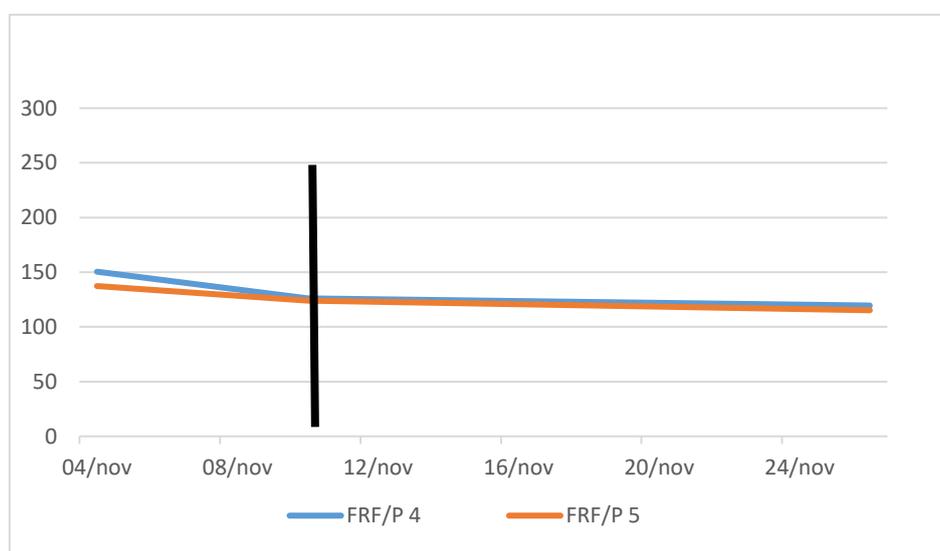


Figura 44. Exemplo 5 da evolução de FRF/P ao longo do período de maturação.

6.3. Capacidade de trabalho do equipamento de colheita.

O sistema de colheita mais comum em olivais tradicionais na Terra Quente Transmontana é constituído por trator com vibrador de troncos para destaque dos frutos e um apara frutos para a recolha (Figuras 45). Os tratores normalmente utilizados são de tração dupla e potência entre 70 kW a 100 kW.



Figuras 45. Sistema de colheita mais usual.

A capacidade de trabalho é expressa pelo número de árvores vibradas por hora. Para avaliar a capacidade de trabalho devem ser medidos em segundos os tempos elementares de trabalho como: tempo médio de vibração por árvore; tempo médio para deslocar o equipamento de uma árvore para a próxima; tempo médio de descarga da caixa coletora do apara frutos; número de árvores colhidas entre as descargas e outros que se afiguraram convenientes, como por exemplo o tempo médio para limpeza de folhas acumuladas no apara frutos.

É importante uma análise crítica às estratégias e gestão dos procedimentos inerentes à colheita mecânica usualmente praticados pelos agricultores, que têm influência direta no custo desta operação. Com este sistema de colheita não se retira do olival a totalidade da produção. Para evitar essa perda de produção, os produtores adotam métodos tradicionais de colheita por varejamento para retirar a azeitona que fica na árvore após ou durante o trabalho do vibrador de troncos (Figuras 46). Desta forma aumenta o custo de colheita com o acréscimo de mão-de-obra e com a redução da capacidade de trabalho (árvores/hora) do sistema

de colheita mecânica. Esta redução da capacidade de trabalho é consequência do tempo que é necessário para o varejamento manual.



Figuras 46. Varejamento manual complementar.

É usual colher 70% a 90% da produção de azeitona (Sola-Guirado et al, 2018). Colher 80 % a 85% da produção já é um objetivo razoável (Castro-Garcia et al, 2012). Uma eficiência de colheita de 85% é considerada (Farinelli *et al* 2012) o limiar de rendibilidade para colheita mecânica de azeitona com vibrador de troncos. Esta afirmação significa que permanecer na árvore 15% ou menos da produção total, perdendo-a, é compensador face à redução de custos que o sistema de colheita proporciona, sendo que nestas situações o varejamento manual complementar contribui para a subida dos custos de colheita, sem o correspondente aumento do retorno líquido. Antes de decidir pelo varejamento manual complementar, é importante avaliar se esta prática tem um custo que compense esta operação. Apresentam-se nas Figuras 47 e 48 resultados de capacidade de trabalho de equipamento de colheita que demonstram a situação descrita.

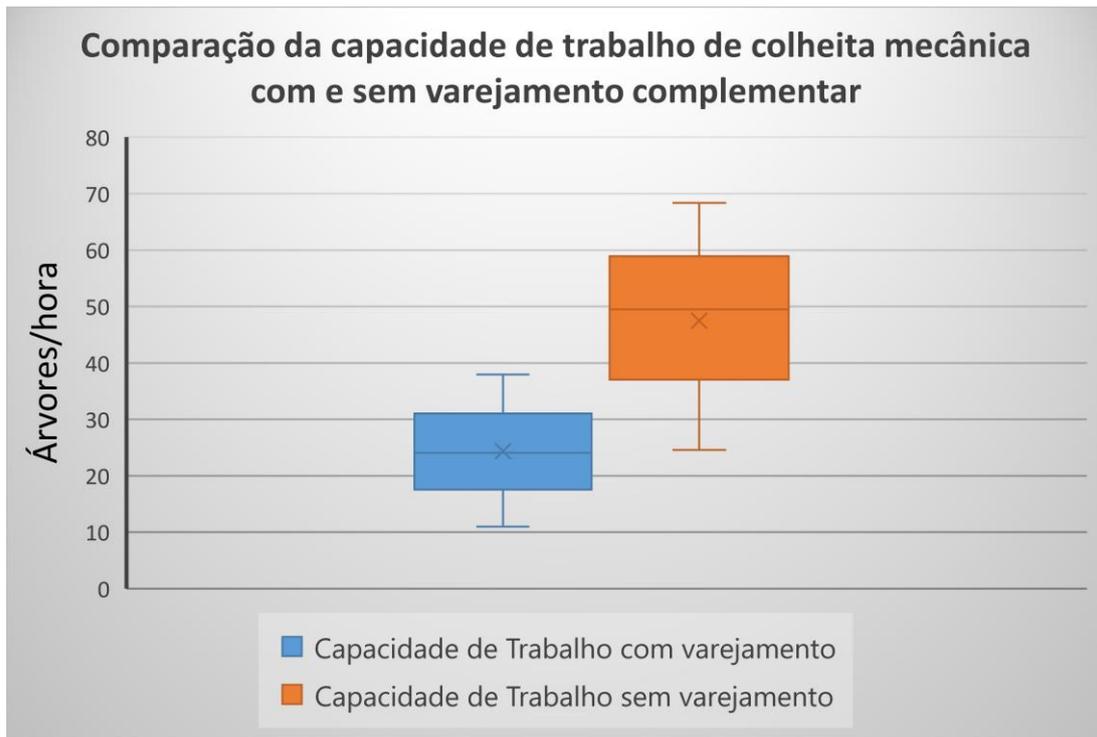


Figura 47. Comparação de valores de capacidade de trabalho medida em árvores vibradas por hora em olivais em que se recorreu ao varejamento manual complementar e em olivais em que não se recorreu a essa operação complementar.

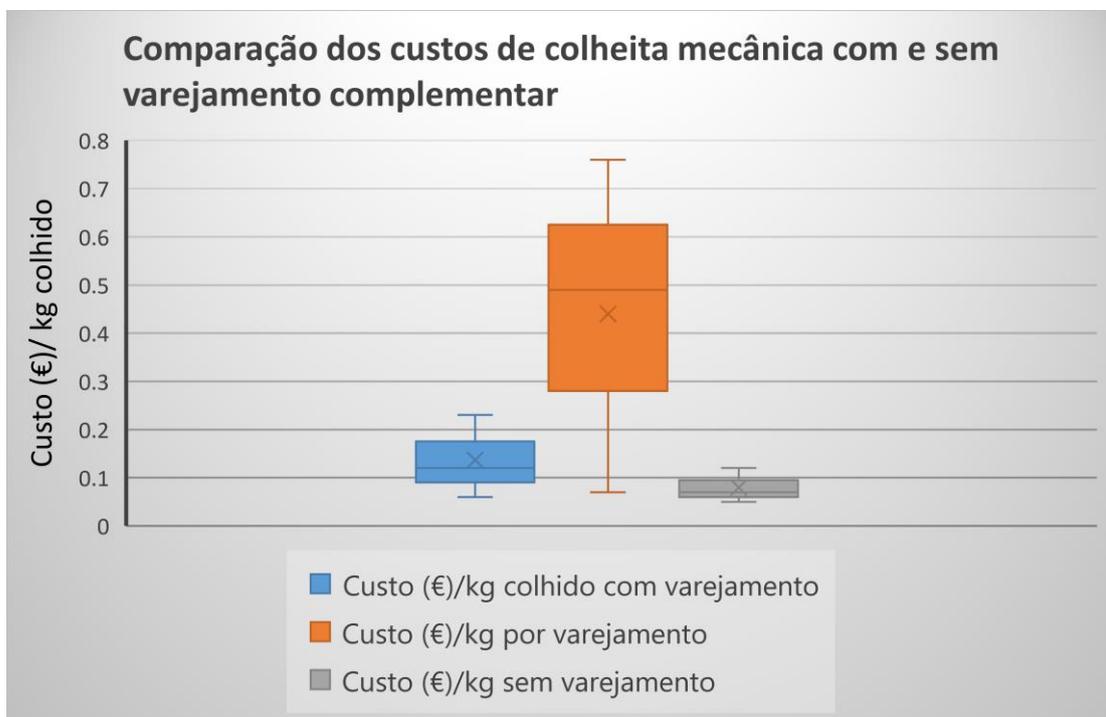


Figura 48. Custos por kg de azeitona colhida em olivais em que se recorreu ao varejamento complementar (azul); Custos por kg de azeitona colhida em olivais em que não se recorreu ao varejamento complementar (cinzento); Custos por kg de azeitona colhida pelo varejamento complementar (laranja).

6.4. Considerações finais

Observam-se diferenças importantes entre o desempenho deste sistema de colheita quando há recurso ao varejamento manual complementar em que se obtêm valores de capacidade de trabalho maioritariamente entre 18 a 20 árvores por hora e 30 a 33 árvores por hora e o desempenho deste sistema de colheita quando não há recurso ao varejamento manual complementar em que se obtêm valores de capacidade de trabalho maioritariamente entre 38 a 40 árvores por hora e 55 a 60 árvores por hora.

O custo da produção colhida mecanicamente com varejamento situa-se maioritariamente entre 0,10 €/kg e 0,18 €/kg. O custo da produção colhida mecanicamente sem recurso a varejamento situa-se maioritariamente entre 0,05€/kg e 0,10 €/kg. O custo por kg da azeitona colhida apenas pelo varejamento manual complementar situa-se entre 0,29 €/kg e 0,60 €/kg.

Valerá a pena refletir nestes custos do varejamento complementar. Os resultados obtidos nos testes de campo indicam que o acréscimo de colheita é reduzido e que o preço por kg desse acréscimo de produção colhido é muito superior ao valor comercial da azeitona. Antes de tomar a decisão de recorrer ao varejo complementar, importa avaliar a sua necessidade, isto é, qual a eficiência de colheita expectável. Sendo esperada uma eficiência e colheita inferior aos valores de referência (85%), o varejo complementar pode ser uma solução, mas é recomendável uma avaliação das outras soluções agronómicas e mecânicas que conduzem ao mesmo objetivo.

6. Gestão da rega e qualidade do azeite



~

7. Gestão da rega e qualidade do azeite

Anabela Fernandes Silva

7.1 Composição do azeite

O azeite é uma gordura vegetal extraído da azeitona unicamente por processos físicos e mecânicos e que pode ser consumida diretamente, ao contrário de outros óleos vegetais que necessitam de sofrer a ação de produtos químicos antes de serem consumidos. Portanto, pode-se dizer que o azeite é o sumo natural da azeitona!

A composição química e as características organoléticas do azeite virgem são influenciadas por fatores genéticos, agronómicos e técnicos, tais como a cultivar, as práticas culturais, a altitude, a data de colheita e o método utilizado, o transporte e o armazenamento da azeitona e os métodos de extração do azeite.

Quimicamente, os componentes do azeite podem dividir-se, em duas frações: uma saponificável, constitui cerca de 97 a 99% do peso total do azeite, e por isso, também designada de fração maioritária, e a fração insaponificável, que representa cerca de 2% da massa total de azeite, sendo também designada de compostos minoritários (Figura 49). A fração saponificável é composta maioritariamente por triglicéridos e uma pequena fração de di e mono gliceróis, fosfolípidos e de ácidos gordos livres, os quais são responsáveis pela acidez do azeite. A fração insaponificável é solúvel e é composta por um conjunto muito variado de substâncias tais como, álcoois alifáticos, hidrocarbonetos, pigmentos, compostos fenólicos, esteróis, tocoferóis, compostos voláteis e aromáticos. Apesar de constituírem a fração minoritária no azeite, a presença destas substâncias tem elevada importância, tanto do ponto de vista nutricional como em aspetos relacionados com a estabilidade e a qualidade organolética do produto final.

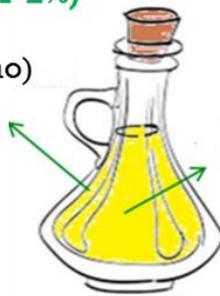
Nas condições climáticas de Portugal, o período mais intensivo da síntese de gordura nas azeitonas ocorre entre meados de agosto até meados do Outono. Durante este período, mais de 80% da gordura é sintetizada. Então, as células

do mesocarpo que se devolveram principalmente no final da primavera início do verão, crescem com a síntese e acumulação de gordura em organelas especiais.

É incontestável que a rega produz aumentos substanciais na produtividade (Fernandes-Silva et al., 2010). Contudo, a informação da sua influência na composição e qualidade do azeite é muitas vezes controversa, sendo consensual que a disponibilidade hídrica afeta a fração insaponificável do azeite, nomeadamente os polifenóis, que são antioxidantes naturais, conferindo estabilidade oxidativa ao azeite e são também responsáveis pelo sabor amargo e picante do azeite. Relativamente à composição em ácidos gordos, a bibliografia indica que estes compostos são afetados negativamente por valores elevados da temperatura do ar e da radiação solar, na altura da biossíntese do azeite, do que propriamente pela disponibilidade de água/stress hídrico.

Compostos minoritários (1-2%)

Esteróis (sitosterol)
Hidrocarbonetos (esqualeno)
Tocoferóis (α -tocoferol)
Álcoois triterpénicos
Pigmentos (clorofila e carotenoides)
Compostos voláteis
Polifenóis



Triglicéridos e derivados (98-99%)

Ácidos gordos

Ácido oleico (C18:1) 55-83%
Ácido linoleico (C18:2) 3,5-21%
Ácido palmítico (C16:0) 7,5-20%
Ácido esteárico (18:0) 0,5-5%
Ácido palmitoleico (C16:1) 0,3-3,5%
Ácido linolénico (C18:3) <1%

Figura 49. Composição química do azeite

Neste sentido, a gestão criteriosa da rega pode ajudar a otimizar a qualidade do azeite, já que o stress hídrico controlado pode aumentar a concentração de polifenóis, que contribuem para o sabor e os benefícios para a saúde do azeite

7.2 A qualidade do azeite

A qualidade do azeite depende da composição em ácidos gordos e da composição em compostos minoritários e é avaliada por parâmetros químicas e sensoriais, conforme definido pelo Conselho Oleícola Internacional. Para efeitos de comercialização do azeite são definidos parâmetros químicos indicativos da qualidade do azeite, como seja, a % de acidez, o índice de peróxidos, as absorvâncias no UV a 232 e a 270 nm e as ceras (Tabela 9).

Tabela 9 Características do azeite (Regulamento (CE) nº 1989/2003)

Categoria	Acidez (%)	I.P (meqO₂/kg)	Ceras (mg/kg)	K₂₃₂	K₂₇₀	Mediana dos defeitos	Mediana do frutado
Azeite Virgem Extra	≤ 0,8%,	≤ 20	≤ 250	≤ 2,5	≤ 0,22	Md = 0	Mf >0
Azeite Virgem	≤ 2	≤ 20	≤ 250	≤ 2,6	≤ 0,25	Md ≤ 3,5	Mf >0
Azeite lampante	> 2	----	≤ 300	----	----	Md > 3,5 ⁽¹⁾	----
Azeite refinado	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 350	----	≤ 1,10	----	----
Azeite constituído por azeite refinado e azeite virgem	≤ 1,0	≤ 15	≤ 350	----	≤ 0,9	----	----

⁽¹⁾ A mediana dos defeitos pode ser inferior ou igual a 3,5 se a mediana do frutado for igual a 0.

A composição de ácidos gordos determina a estabilidade oxidativa do azeite, a fluidez bucal e perceção do gorduroso, assim como aspetos benéficos para a saúde inerentes às propriedades do ácido oleico, ácido linoleico e do ácido linolénico. Quanto maior a relação ácida gorda saturados/insaturados menos fluido/fino é o azeite, permanecendo a sensação bucal de gorduroso, que é pouco apreciada pelo consumidor. Já os azeites com uma relação ácidos gordos saturados/insaturados baixa são mais finos no paladar. Por outro lado, quanto maior o grau de insaturação dos ácidos gordos, mais vulnerável está o azeite à oxidação lipídica. Neste aspeto, importa a relação entre os ácidos gordos monoinsaturados e polinsaturados, quanto maior mais estável é o azeite.

Entre os compostos minoritários, os mais importantes são os tocoferóis e os compostos fenólicos, pelas suas propriedades antioxidantes e pelo sabor do azeite, e os compostos voláteis, que são responsáveis pelos principais aromas positivos e notas de sabor do azeite virgem extra, nomeadamente o frutado, floral, verde, tomate, frutos secos, banana, maçã, etc...

Os compostos fenólicos são uma classe de compostos químicos que ocorrem naturalmente nas plantas e têm várias funções, incluindo proteção contra stresses abióticos (pragas e doenças), stresses ambientais e radiação ultravioleta. Estes metabolitos secundários desempenham um papel importante na defesa das plantas e podem ter benefícios para a saúde humana quando consumidos na dieta. Os compostos fenólicos podem desempenhar um papel importante na resposta das plantas ao estresse hídrico. Quando as plantas enfrentam condições de seca, podem aumentar a produção de compostos fenólicos como parte de sua resposta de defesa. Esses compostos podem ajudar a proteger as plantas contra os danos oxidativos e outras formas de estresse associadas à falta de água.

Na azeitona os compostos fenólicos são sintetizados nas células da epiderme, passando para o azeite durante o processo de extração. A fração fenólica presente no azeite consiste em algumas dezenas de compostos, embora na realidade nem todos sejam encontrados juntos em todos os azeites virgem extra. Todos esses compostos pertencem a diferentes subclasses químicas, estão presentes em uma ampla gama de concentrações e pertencem basicamente a cinco classes (Figura 50).

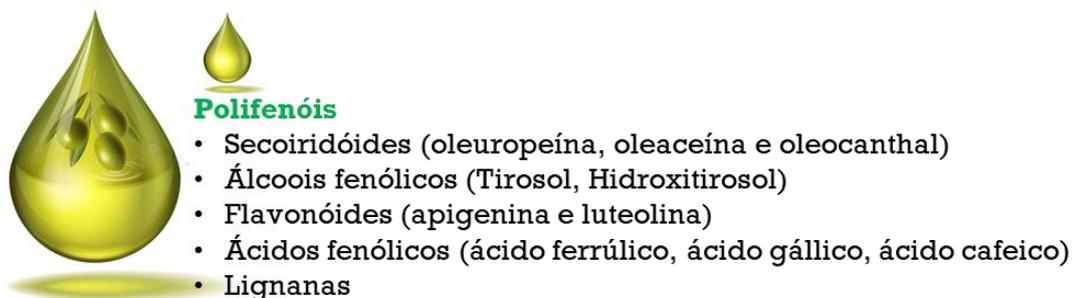


Figura 50- principais classes de compostos fenólicos presentes no azeite virgem extra.

O conteúdo em polifenóis do azeite numa determinada cultivar é fortemente influenciado pelas características edafoclimáticas, obtendo-se azeites com características sensoriais diferentes, uma vez que os polifenóis são, em grande parte, responsáveis pelo sabor amargo e picante dos azeites (Fernandes-Silva, 2013a). Os polifenóis desempenham também um papel crucial na função antioxidante, aumentando a estabilidade oxidativa do azeite, isto é, aumenta o

seu tempo de vida útil, demorando mais tempo a ficar rançoso. Além da função antioxidante, os polifenóis apresentam também uma ação anti-inflamatória (olecanthal) e anticoagulante, prevenindo o aparecimento do cancro do colón, da osteoporose e de doenças cardiovasculares (Servili et al., 2014). Neste últimos caso, esta associação é reconhecida por uma alegação de saúde que refere que “os polifenóis do azeite contribuem para a proteção dos lipídios do sangue contra o estresse oxidativo” para azeites virgem extra que continham um mínimo de 5 mg de hidroxitirosol e derivados (por exemplo, complexo de oleuropeína e tirosol) por 20 g de azeite (Regulamento da Comissão (UE n.º 432/2012, 2012).

7.3 Estratégias de rega deficitária e qualidade do azeite

As estratégias de rega deficitária são uma das principais alternativas para fazer face à escassez de água no atual contexto das alterações climáticas. A rega deficitária controlada (RDI) e a rega deficitária contínua sustentada (SDI) são as principais estratégias de rega deficitária que têm sido adotadas nos olivais regados (Fernandes-Silva et al., 2010, 2021, 2023; García-Garvía et al., 2022, 2023). O sucesso da RDI depende do período exato em que se impõe o défice hídrico. Alguns estudos indicam que a rega deficitária não afetou o rendimento em azeite nem o peso dos frutos (Serman et al., 2011). Por outro lado, às doses de rega correspondentes a 100% ET ou superiores estão associadas a uma diminuição da concentração de compostos menores importantes nos azeites virgens, incluindo polifenóis totais (TP), orto-difenóis (OD), tocoferóis (TC) e compostos voláteis (VC) (Moriani et al., 2007; Fernandes-Silva et al., 2013a), todos com papéis importantes no valor nutricional, propriedades biológicas e características organolépticas do azeite.

Azeites obtidos de plantas em condições de rega deficitária têm frequentemente uma melhor qualidade em comparação com as estratégias bem regadas/regas plena (100%ET) (Fernandes-Silva et al., 2013a, b).

A concentração de polifenóis é extremamente afetada pelo estado hídrico da planta, existindo um consenso mais ou menos geral que existe maior quantidade de polifenóis em azeites obtidos em condições de défice hídrico do que nos obtidos em condições de rega com 100%ET para a mesma cultivar (Fernandes-Silva et al., 2013b; Caruso et al., 2014; Ahumada-Orellana et al., 2018). O

decréscimo dos polifenóis no azeite parece ser atribuído à diferente atividade enzimática, envolvida no metabolismo destas substâncias, que varia com o estado hídrico da planta, do que em relação aos diferentes graus de maturação do fruto (Machado et al., 2013). Nas situações em que foi observado um decréscimo da quantidade de polifenóis com a rega, os autores referem que este comportamento não exerceu na capacidade de conservação em variedades estáveis e muito ricas nestes compostos, tais como a Cv. Cobrançosa (Fernandes-Silva et al., 2013b) Picual (Jiménez-Herrera et al., 2019), Cornicabra (Gómez-Rico et al., 2007). Porém, este comportamento pode reduzir a capacidade de conservação em outras variedades, tal com a cv. “Arbequina”, devido à baixa quantidade intrínseca em polifenóis (Gómez-Rico et al., 2007).

Em relação ao cumprimento da alegação de saúde (Regulamento da Comissão (UE n.º 432/2012, 2012), Fernandes-Silva et al. (2023) num estudo realizado na cultivar Cobrançosa, na região de Trás-os-Montes, observaram que os valores mais elevados dos compostos derivados da hidrólise dos secoiridóides (hidroxitirosol +tirosol), os valores mais elevados foram obtidos nos tratamentos de rega deficitária, apesar do comportamento não ter sido consistente entre as estratégias de rega deficitária RDI e SDI nos dois anos do estudo. No entanto, os autores referem que os resultados da colheita mais recente (2020) indicaram que todos os azeites dos tratamentos de rega deficitária e do controlo (100%) cumpriram a alegação de saúde, garantindo que a sua ingestão diária contribuiria para a proteção dos lípidos do sangue contra o stress oxidativo, enquanto o azeite da estratégia de rega 120%ET ficou muito próximo. No geral, os autores referem que a RDI100 parece ser a estratégia de rega deficitária mais bem sucedida para a cultivar Cobrançosa na região do estudo e que o desempenho da estratégia RDI60 pode ser melhorado se, em vez de cortar a rega no período de endurecimento do caroço, esta for reduzida para 15-20% do controlo. Estes resultados são corroborados pelas observações de Caruso et al. (2014) na cultivar Frantoio, que referem que o azeite obtido da estratégia de rega 1000%ET têm concentrações mais baixas de compostos fenólicos, secoiridóides e derivados de secoiridóides do que os obtidos em condições de déficit hídrico severo ou em rega deficitária.

Os estudos realizados sobre o efeito da rega e de diferentes estratégias de rega deficitária na composição em ácidos gordos em diferentes cultivares e

regiões, indicam apenas ligeiras modificações ou até mesmo ausência de resposta (Fernandes-Silva et al., 2013b; Caruso et al., 2014) As diferenças entre os tratamentos parecem depender mais das condições climáticas na altura da biossíntese da gordura (Rondanini et al., 2011)

Em termos sensoriais, vários autores reportam que os azeites produzidos em árvores com rega plena (100%ET) são menos amargos e menos picantes do que os de árvores em sequeiro e em rega deficitária, enquanto o sabor frutado é o mesmo, estando este atributo mais relacionada com o índice de maturação (Gómez-Rico et al., 2007). A estratégia de rega RDI é mesmo recomendada como uma excelente ferramenta de gestão para melhorar as propriedades organolépticas do azeite da cultivar Arbequina em olival super intensivo e redução do uso de água nestes sistemas de produção, pelos benefícios positivos produzidos no aumento no conteúdo em polifenóis que contribuíram positivamente para o atributo amargo e picante do azeite de árvores com maior déficit hídrico (Ahumada-Orellana et al., 2018).

Relativamente aos compostos voláteis, parecem ser influenciados de forma mais consistente pelo ano do que pela disponibilidade de água no solo (Fernandes-Silva et al., 2013a; Caruso et al., 2014)

A rega tem efeitos insignificantes na acidez livre, no índice de peróxidos, nas absorvâncias no UV a 232 e 270 nm (Fernandes-Silva et al., 2013b, 2021; Caruso et al., 2014), estando estes parâmetros de qualidade mais relacionados com o estado sanitário das azeitonas, tipo de colheita, época da colheita, tempo de armazenamento da azeitona e condições de extração do azeite.

7.4 Considerações finais

O impacto das diferentes estratégias de rega deficitária na qualidade do azeite depende da cultivar e da sua interação com as condições edafoclimáticas locais. Uma gestão criteriosa da rega é essencial para garantir a qualidade do azeite.

Referências bibliográficas

- AGRO.GES – Sociedade de Estudos e Projetos, Lda. (2022). *Sustentabilidade dos Olivais em Portugal – Desafios e respostas*. Príncipe Editora, Parede, Portugal.
- Ahumada-Orellana, L.E, Ortega-Farías, S., Peter S. Searles, P.S. (2018). Olive oil quality response to irrigation cut-off strategies in a super-high density orchard. *Agric. Water Manag.* 202, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.008>.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome.
- Burt, C.M., Clemmens, A.J., Strelkoff, T.S., Solomon, K.H., Bliesner, R.D., Hardy, L.A., Howell, T.A., Eisenhauer, D.E. (1997) Irrigation performance measures: sufficiency and uniformity. *J. Irrig. Drain. Engng.* 123: 423-442.
- Carpintero, E., Mateos, L., Andreu, A., González-Dugo, M.P. (2020). Effect of the differences in spectral response of Mediterranean tree canopies on the estimation of evapotranspiration using vegetation index-based crop coefficients. *Agric. Water Manag.* 238:106201. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106201>.
- Caruso, G., Gucci, R., Urbani, S., Esposto, S., Taticchi, A., Di Maio, I., Selvaggini, R., and Servili, M. (2014). Effect of different irrigation volumes during fruit development on quality of virgin olive oil of cv. Frantoio. *Agric. Water Manag.* 134, 94–103 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.003>.
- Castro-García, S., Blanco Roldán, G.L., Jiménez-Jiménez, F., Gil-Ribes, J.A., Ferguson, L., Glozer, K., Krueger, W.H., Fichtner, E.J., Burns, J.K., Miles, J.A. and Rosa, U.A. (2012). Preparing Spain and California table olive industries for mechanical harvesting. *Acta Hort.* 965, 29-40. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.965.1>
- Conselho Oleícola Internacional. (2022). Table 1. Production. Disponível em: <https://www.internationaloliveoil.org/wp-content/uploads/2022/12/HO-W901-13-12-2022-P.pdf>
- Cuevas M.V., Martín-Palomo M.J., Diaz-Espejo A., Torres-Ruiz J.M., Rodriguez-Dominguez C.M., Perez-Martin A., Pino-Mejías R., Fernández J.E. (2013). Assessing water stress in a hedgerow olive orchard from sap flow and trunk diameter measurements, *Irrig. Sci.* 31: 729–746. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0357>.
- Farinelli, D., Tombesi, S., Famiani, F. and Tombesi, A. (2012). The fruit detachment force/fruit weight ratio can be used to predict the harvesting yield and the efficiency of trunk shakers on mechanically harvested olives. *Acta Hort.* 965: 61-64. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.965.5>
- Ferguson, L. (2006). Trends in Olive Harvesting in Trends in Olive Fruit Handling Previous to its Industrial Transformation. *Grasas y Aceites*, 57 (1): 9-15. <https://doi.org/10.3989/gya.2006.v57.i1.17>
- Ferguson, L., Rosa, U.A., Castro-Garcia, S., Lee, S.M., Guinard, J.X., Burns, J., Krueger, W.H., O'Connell, N.V., Glozer, K. (2010). Mechanical Harvesting of California Table and Oil Olives. *Advances in Hort. Sci.* 24 (1): 53-63. <http://www.jstor.org/stable/42882754>.
- Fernandes-Silva, A. Boatto, A., Brito, T., Cruz, R., Casal, S. (2023). Effect of regulated and sustained irrigation on oil concentration and minor compounds of olive oil. *Acta Hort.* 1373, 1013-112. [doi10.17660/ActaHortic.2023.1373.15](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1373.15)
- Fernandes-Silva, A., Marques, P., Brito, T., Canas, L., Cruz, R., and Casal, S. (2021). Olive oil composition of cv. Cobrançosa is affected by regulated and sustained deficit irrigation. *Biol. Life Sci. Forum*, 3, 63. <https://doi.org/10.3390/IECAG2021-09735>.

- Fernandes-Silva, A.A., Falco, V., Correia, C.M., and Villalobos, F.J. (2013a). Sensory analysis and volatile compounds of olive oil (cv. Cobrançosa) from different irrigation regimes. *Grasas Aceites*. 64 (1), 59–67 <https://doi.org/10.3989/gya.069712>.
- Fernandes-Silva, A.A., Ferreira, T.C., Correia, C.M., Malheiro, A.C., and Villalobos, F.J. (2010). Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant Soil* 333 (1-2), 35–47 <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0294-5>.
- Fernandes-Silva, A.A., Gouveia, J.B., Vasconcelos, P., Ferreira, T.C., and Villalobos, F.J. (2013b). Effect of different irrigation regimes on the quality attributes of monovarietal virgin olive oil from cv. 'Cobrançosa'. *Grasas Aceites* 64 (1), 41–49 <https://doi.org/10.3989/gya.070512>.
- Fernández J.E. and Cuevas M.V., Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review. *Agric. Forest Meteo.* 150:135–151. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.11.006>
- Fernández, J.E. (2017). Plant-based methods for irrigation scheduling of woody crops, *Hortic.* 3: 35. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020035>.
- Fernández, J.E., Moreno, F., Martín-Palomo, M.J., Cuevas, M.V., Torres-Ruiz, J.M. Moriana A. (2011). Combining sap flow and trunk diameter measurements to assess water needs in mature olive orchards. *Environ. Exp. Botany*, 72: 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.04.004>.
- French, A.N., Hunsaker, D.J., Sanchez, C. A., Saber, M., Gonzalez, J.R., Anderson, R. (2020). Satellite-based NDVI crop coefficients and evapotranspiration with eddy covariance validation for multiple durum wheat fields in the US Southwest, *Agric. Water Manag.* 239: 106266. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106266>
- Galieni, A., D'Ascenzo, N., Stagnari F., Pagnani, G, Xie, Q., Pisante, M. (2021) Past and Future of Plant Stress Detection: An Overview From Remote Sensing to Positron Emission Tomography. *Front. Plant Sci.* 11:609155. doi: 10.3389/fpls.2020.609155.
- García-Garvía, J.M., Sánchez-Bravo, P., Hernández, F., Sendra, E.; Corell, M., Moriana, A., Burgos-Hernández, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. (2022). Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Quality of 'Arbequina' Extra Virgin Olive Oil Produced on a Super-High-Intensive Orchard. *Agron.* 12, 1892. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081892>
- García-Garvía, J.M.; Noguera-Artiaga, L.; Hernández, F.; Pérez-López, A.J.; Burgos-Hernández, A.; Carbonell-Barrachina, Á.A. (2023). Quality of Olive Oil Obtained by Regulated Deficit Irrigation. *Hortic.* 9, 557. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9050557>.
- García-Tejero, I.F., Hernández, A., Padilla-Díaz, C.M., Diaz-Espejo, A., Fernández, J.E. (2017). Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. *Agric. Water Manag.* 188: 50–60. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.004>.
- George. M.C. (1994). Mechanical olive harvest: use of fruit loosening agents. *Acta Hortic.* 356: 284-291. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1994.356.60>
- Girón, I.F., Corell, M., Martín-Palomo, M.J., Galindo A., Torrecillas. A., Moreno. F., Moriana, A. (2015). Feasibility of trunk diameter fluctuations in the scheduling of regulated deficit irrigation for table olive trees without reference trees. *Agric. Water Manag.* 161: 114–126. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.07.014>
- Glenn, E.P., Huete, A.R., Nagler, P.L., Nelson, S.G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological

- processes: What vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*. 8(4), 2136-2160. <https://doi.org/10.3390/s8042136>
- Glenn, E.P., Neale, C.M.U., Hunsaker, D.J., Nagler, P.L. (2011). Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrol. Process.* 25: 4050–4062. <https://doi.org/10.1002/hyp.8392>
- Gómez-Rico, A., Salvador, M.D., Moriana, A., Pérez, D., Olmedilla, N., Ribas, F., Fregapane, G. (2007). Influence of different irrigation strategies in a traditional Cornicabra cv. olive orchard on virgin olive oil composition and quality. *Food Chem.* 100: 568-578. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.075>.
- Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sens. Environ.* 25 (3): 295–309. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106)
- INE. (2019). Estatísticas Agrícolas. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa, Portugal.
- INE. (2019). *Recenseamento Geral da Agricultura*. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa, Portugal.
- Israelsen, O. W. (1932) *Irrigation Principles and Practices*. John Wiley & Sons, New York.
- Jiménez-Herrera R, Pacheco-López B, Peragón J. (2019). Water Stress, Irrigation and Concentrations of Pentacyclic Triterpenes and Phenols in *Olea europaea* L. cv. Picual Olive Trees. *Antiox.*8: 294-. doi: 10.3390/antiox8080294.
- Johnson, L.F., Trout, T.J. (2012). Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin valley. *Remote Sens.* 4 (2): 439–455. <https://doi.org/10.3390/rs4020439>.
- Keller, J., Bliesner, R. D. (1990) *Sprinkler and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Marques, P., Canas, L. and Fernandes-Silva, A. (2021). Leaf reflectance response to deficit irrigation in olive trees. *Acta Hortic.* 1327, 625-634. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2021.1327.82>
- Marques, P., Pádua, L., Sousa, J.J., Fernandes-Silva, A. (2023). Assessing the Water Status and Leaf Pigment Content of Olive Trees: Evaluating the Potential and Feasibility of Unmanned Aerial Vehicle Multispectral and Thermal Data for Estimation Purposes. *Remote Sens.* 15, 4777. <https://doi.org/10.3390/rs15194777>
- Molden, D. J.; Sakthivadivel, R.; Perry, C. J.; de Fraiture, C.; Kloezen, W. H. (1998) *Indicators for comparing performance of irrigated agricultural systems*. Colombo, Sri Lanka: IWMI. v, 26p.
- Moriana, A., Girón, I.F., Martín-Palomo, M.J., Conejero, W., Ortuño, M.F., A. Torrecillas, A., Moreno, F. (2010). New approach for olive trees irrigation scheduling using trunk diameter sensors. *Agric. Water Manag.* 97 (11): 1822-1828. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.022>
- Moriana, A., Pérez-López, D., Gómez-Rico, A., Salvador, M.D., Olmedilla, N., Ribas, F., and Fregapane, G. (2007). Irrigation scheduling for traditional, low-density olive orchards: water relations and influence on oil characteristics. *Agric. Water Manag.* 87 (2), 171–179 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.017>
- Ortuño, M.F., Conejero, W., Moreno, F., Moriana, A., Intrigliolo, D.S., Biel, C., Mellisho, C.D., Pérez-Pastor, A., Domingo, R., Ruiz-Sánchez, M.C., Casadesus, J., Bonany J., Torrecillas A. (2010). Could trunk diameter sensors be used in woody crops for irrigation scheduling? A review of current knowledge and future perspectives. *Agric. Water Manag.* 97: 2010, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.008>

- Pereira, L. S. (2005). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa-America, Lisboa.
- Pereira, L.S. (2007) Uso sustentável da água e convivência com a escassez: revisitando conceitos e indicadores. *Ingenieria del Agua*, 14, 237-252
- Pôças, I., Paço, T.A., Paredes, P., Cunha, M., Pereira, L.S. (2015). Estimation of Actual Crop Coefficients Using Remotely Sensed Vegetation Indices and Soil Water Balance Modelled Data. *Remote Sens.* 7, 2373-2400. <https://doi.org/10.3390/rs70302373>
- Ravetti, L.M. (2014). Technology for improving the efficiency of mechanical harvesting in modern olive growing. *Acta Hort.* 1057: 221-229. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2014.1057.26>
- Regulamento da comunidade Europeia (CE) N.º 1989/2003. (2003). Características dos azeites e dos óleos de bagaço de azeitona, bem como aos métodos de análise relacionados. *Off. J. Eur. Union.* 57-59. L295
- Regulamento da Comunidade Europeia (CE) No 432/2012. (2012). Establishing a list of permitted health claims made on foods other than those referring to the reduction of disease risk and to children's development and health. *Off. J. Eur. Union.* 1–40. L136.
- Rondanini, D.P., Castro, D.N., Searles, P.S., Rousseaux, M.C. (2011). Fatty acid profiles of varietal virgin olive oils (*Olea europaea* L.) from mature orchards in warm arid valleys of Northwestern Argentina (La Rioja). *Grasas Aceites.* 62, 399–409. doi: 10.3989/gya.125110
- Serman, F.V., Pacheco, D., Olgún Pringles, A., Bueno, L., Carelli, A., and Capraro, F. (2011). Effect of regulated deficit strategies on productivity, quality and water use efficiency in a high-density 'Arbequina' olive orchard located in an arid region of Argentina. *Acta Hort.* 888, 81–88 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.888.8>.
- Silva, A.A.F. (2008). *Necessidades hídricas e resposta da oliveira ao déficit hídrico na Terra Quente Transmontana*. Tese de Doutoramento. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.
- Sola-Guirado, R.R., Castillo-Ruiz, F.J., Blanco-Roldán, G.L., Castro-García, S., Colmenero, J.T., Gil-Ribes, J.A. (2018). Mecaolivar outcomes: testing newly developed harvesters in traditional and intensive olive orchards. *Acta Hort.* 1199, 321-326. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1199.50>
- Testi, L., Villalobos, F.J., Orgaz, F. e Fereres, E. (2006). Water requirements of olive orchards: I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrig. Sci.* 24: 69-76. <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0011-y>
- Tombesi, A. (1990). Physiological and mechanical advances in olive harvesting. *Acta Hort.* 286, 399-412. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.286.83>
- Tombesi, A., Boco, M., Pilli, M., Farinelli, D. (2002). Influence of canopy density on efficiency of trunk shaker on olive mechanical harvesting. *Acta Hort.* 586, 291-294 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.586.56>
- Trentacoste, E.R., Calderón, F.J., Contreras-Zanessi, O., Galarza, W., Banco, A.P., and Puertas, C.M. (2019). Effect of regulated deficit irrigation during the vegetative growth period on shoot elongation and oil yield components in olive hedgerows (cv. Arbequina) pruned annually on alternate sides in San Juan, Argentina. *Irrig. Sci.* 37 (4), 533–546 <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00632-8>.

