Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Dinâmica de transpiração da oliveira em diferentes regimes hídricos

-Versão Definitiva-

Dissertação para obtenção de grau de mestre
Mestrado em Engenharia Agronómica

Eduarda Catarina Farinha Mateus

Orientadora: Professora Doutora Anabela Afonso Fernandes Silva

Vila Real, 2022

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Dinâmica de transpiração da oliveira em diferentes regimes hídricos

Dissertação de Mestrado em

Engenharia Agronómica

Eduarda Catarina Farinha Mateus

Orientadora: Professora Doutora Anabela Afonso Fernandes Silva

Composição do Júri

Presidente do Júri: Doutora Guilhermina Miguel da Silva Marques

1º Vogal: Doutora Teresa Afonso do Paço

2º Vogal: Doutora Anabela Afonso Fernandes Silva

Vila Real, 2022

"Onde a oliveira não chega, o Mediterrâneo morre"

(Gouveia e Böhm)

" Insistimos em ver cisco no olho e esquecemos as Montanhas, os Campos e as Oliveiras "

(Paulo Coelho)

“As doutrinas apresentadas neste trabalho são
da exclusiva responsabilidade do autor.”

Este trabalho foi financiado pelo Projeto Grupo Operacional Olivicultura e Azeite - Sustentolive: Melhoria das práticas de rega e fertilização nas explorações olivícolas em Trás-os-Montes para a sustentabilidade do olival, financiado pelo Fundo Europeu Agrícola de Desenvolvimento Rural (FEADER) e pelo Estado Português no âmbito da Ação 1.1 «Grupos Operacionais», integrada na Medida 1. «Inovação» do PDR 2020 – Programa de Desenvolvimento Rural do Continente

Agradecimentos

Gostaria de deixar, neste espaço, um agradecimento especial a quem, de forma direta ou indireta contribuiu para realização desta dissertação de mestrado.

À professora Anabela Afonso Fernandes Silva, minha orientadora, queria agradecer toda a orientação, apoio, compreensão, disponibilidade, tempo dedicado na correção desta dissertação e transmissão de conhecimentos que demonstrou ao longo deste estudo.

Quero agradecer também ao Pedro Marques, pela paciência e disponibilidade demonstrada em todas as saídas de campo.

A todas as pessoas incríveis com as quais tive a sorte de me cruzar nestes cinco anos em Vila Real e que se tornaram amigos, principalmente ao Luís e ao Pedro que, sempre estiveram disponíveis para me ajudar, ouvir, animar quando era necessário e que nunca me deixaram desistir.

Por último, mas não menos importante, à minha irmã Liliana e aos meus pais que nunca se pouparam em esforços na minha formação, por todo o amor, carinho, por sempre acreditarem em mim e nas minhas capacidades, por sempre me ouvirem, por todo o apoio, incentivo e porque nunca me deixaram desistir. É a eles que dedico este meu trabalho.

Índice

Agradecimentos vii
Índice de Figuras x
Lista de abreviaturas e símbolos xiii
Resumo 1
Abstract 2
1. Introdução 3
2. Revisão Bibliográfica 5
2.1. Considerações gerais sobre a cultura da oliveira 5
2.2. Caracterização do setor da olivicultura em Portugal 7
2.3. Mecanismos de adaptação ao défice hídrico 11
2.5. Estratégias de rega no olival 13
2.5.1. Rega Deficitária Contínua 14
2.5.2. Rega Deficitária Controlada 14
2.5.3. Rega Parcial das Raízes 15
2.5.4. Rega suplementar ou de complemento 15
2.5.5. Rega deficitária de baixa frequência 16
2.6. Indicadores do estado hídrico da oliveira 16
2.7. Avaliação da transpiração por métodos de medição do fluxo de seiva 18
3. Material e métodos 21
3.1. Localização e caracterização do ensaio experimental 21
3.2. Variedade em estudo 23
3.3. Caracterização climática 23
3.4. Teor de humidade volumétrica 28
3.5. Indicadores do estado hídrico 28
3.5.1. Potencial hídrico 28
3.5.2. Condutância estomática 29
3.5.3. Teor relativo de água nas folhas 30
3.6. Medição do fluxo de seiva e determinação da transpiração 31
3.7. Análise estatística 35
4. Resultados e Discussão 36
4.1. Teor de humidade volumétrica do solo 36
4.2. Indicadores do estado hídrico 37

4.2.1. Potencial hídrico 37
4.2.2. Condutância estomática 38
4.2.3. Teor relativo de água nas folhas (RWC) 40
4.3. Transpiração 43
5. Conclusões e Perspetivas Futuras 51
Referências Bibliográficas Online 53
Referências Bibliográficas 55

Índice de Figuras

Figura 1. Oliveira (Olea europaea L.) 5
Figura 2.Ciclo bienal da oliveira 7
Figura 3. Área de olival por região agrária..... 9
Figura 4. Produção de azeitona para azeite e azeitona de mesa nos últimos 10 anos 9
Figura 5. Consumo e produção de azeite em Portugal nos últimos 10 anos 10
Figura 6. Esquema de instalação das sondas no tronco..... 19
Figura 7. Localização do campo experimental..... 21
Figura 8. Estratégias de rega do campo experimental..... 22
Figura 9. Temperatura média mensal (°C) do ano de 2019 em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela 25
Figura 10. Precipitação total mensal (mm) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela 25
Figura 11. Valores médios mensais de humidade relativa média (%) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela... 26
Figura 12. Valores médios mensais no ano de 2019 de radiação solar (W/m^2) e défice de pressão de vapor (kPa) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela..... 27
Figura 13. Equipamento utilizado para a avaliação da humidade do solo e respetivo tubo de acesso..... 28
Figura 14. Medição o do potencial hídrico com câmara de pressão de Scholander..... 29
Figura 15. Determinação da condutância estomática..... 29
Figura 16. Determinação do teor relativo de água (RWC)..... 31
Figura 17. Pormenores da instalação das sondas de fluxo de seiva 33
Figura 18. Obtenção da amostra radial de madeira 35
Figura 19. Evolução do teor de humidade volumétrica no solo ($\theta v\ m^3\ m^{-3}$) no perfil do solo (0-60cm) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). As setas indicam o período de interrupção da rega em T5.. 36
Figura 20. Evolução do teor médio de potencial hídrico ao meio dia solar (ΨMD MPa) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET).). 37

Figura 21. Evolução da condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET) 39
Figura 22. Teor relativo de água nas folhas (%) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)..... 40
Figura 23. Relação entre teor de humidade volumétrica do Solo (m^3 m^{-3}) e Teor relativo de água nas folhas (%) nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). 42
Figura 24. Relação entre potencial hídrico (MPa) e teor relativo de água nas folhas (%) nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)..... 43
Figura 25. Densidade de Fluxo de Seiva (cm h^{-1}) em plantas de oliveira nos tratamentos de rega plena, T2, rega deficitária continua, T4, e rega deficitária controlada, T5..... 45
Figura 26.Radiação solar diária e défice de pressão de vapor nos dias 18 e 19 de julho 45
Figura 27. Valores diurnos do fluxo de seiva (L h^{-1}) das oliveiras nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET) num dia de sol e num dia nublado. Também são apresentados os valores evapotranspiração potencial (ETc) e da radiação solar. 47
Figura 28. Evolução da transpiração diária (T) das plantas dos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET) e a evapotranspiração potencial (ETc) 48
Figura 29. Regressão linear entre transpiração e evapotranspiração dos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)..... 48
Figura 30. Coeficiente basal (K_{cb}) do tratamento de rega plena (T2-100%ET) e transpiração relativa dos tratamentos de rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)..... 49

Índice de tabelas

Tabela 1. Azeite Produzido (hL) por região geográfica 10

Tabela 2. Dados de instalação das sondas (altura das sondas ao solo, diâmetro do tronco e orientação) 32

Lista de abreviaturas e símbolos

COI	Conselho Oleícola Internacional
ET	Evapotranspiração
ET_0	Evapotranspiração de referência
g_s	Condutância Estomática
INE	Instituto Nacional de Estatística
IPMA	Instituto Português do Mar e da Atmosfera
K_c	Coeficiente Cultural
MDS	Encolhimento Máximo Diário
MNDD	Diâmetro Mínimo Diário
MXDD	Diâmetro Máximo Diário
N	Necessidades de rega
PF	Peso Fresco
PS	Peso Seco
PT	Peso Túrgido
PRD	Rega parcial das raízes
R	Precipitação
RDI	Rega deficitária controlada
RWC	Conteúdo Relativo de água nas folhas
SDI	Rega deficitária contínua
TGR	Taxa de crescimento do tronco
UE	União Europeia
Ψ	Potencial hídrico

Resumo

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma das culturas com maior dispersão por todo o mundo. Em Portugal, como as condições edafo-climáticas são ótimas para o desenvolvimento desta cultura, a olivicultura apresenta-se como uma atividade de grande importância socioeconómica.

Com as alterações climáticas que se têm verificado nos últimos anos, cada vez mais os olivais Transmontanos, à semelhança dos olivais do resto do País, são regados com o objetivo de reduzir os efeitos negativos que advém dessas alterações e, em simultâneo, garantir a produtividade do olival. Por outro lado, a escassez de água também é um problema muito atual, que põe em causa o uso de água na agricultura.

Deste modo surgiram os objetivos gerais deste estudo: avaliar diferentes estratégias de rega: i) situação em conforto hídrico; ii) situação de rega deficitária contínua e iii) situação de rega deficitária controlada, tentando otimizar a quantidade de água a aplicar, tendo em conta as necessidades hídricas das plantas.

Para perceber a dinâmica do uso da água necessária avaliaram-se diferentes indicadores do estado hídrico da oliveira (potencial hídrico, condutância estomática e teor relativo de água nas folhas) e monitorizou-se o fluxo de seiva no tronco com o objetivo de estudar a dinâmica da transpiração.

Neste estudo, concluiu-se que o método de compensação do impulso de calor parece ser um método útil, fácil de usar e com custos económicos mais baixos do que outros utilizados.

Palavras-chave: Olival, rega deficitária, indicadores do estado hídrico, compensação do impulso de calor, fluxo de seiva

Abstract

The olive tree (*Olea europaea* L.) is one of the crops that is widespread around the world. In Portugal, as the soil and climatic conditions are excellent for the development of this crop, the production of olive trees presents itself as an activity of great socioeconomic importance.

With the climate changes that has occurred in recent years, irrigation of olive orchards in the region of Trás-os-Montes has been increased, like in other regions of Portugal, with the aim to mitigate the negative effects that arise from these changes and, simultaneously, guaranteeing the productivity of the olive orchards. On the other hand, water scarcity is also a very current problem, thus is crucial the rational use of water in agriculture.

In this way, the general objectives of this study emerged: to evaluate different irrigation strategies: i) situation in water comfort; ii) situation in susteained deficit irrigation and iii) situation in regulated deficit irrigation, trying to optimize the amount of water to be applied, taking into account the water needs of plants.

To understand water relations in the continuum soil plant atmosphere, different indicators of plant water status (water potential, stomatal conductance and relative water content in the leaves) were evaluated and the sap flow in the trunk was monitored in order to study the dynamics of transpiration.

In this study it was concluded that the heat impulse method seems to be a useful method, easy to use and with lower economic costs that others used.

Keywords: Olive grove, deficit irrigation, water status indicators, compensation heat pulse, sap flow

1. Introdução

A cultura da oliveira (*Olea europaea* L.) é uma das culturas mais praticadas em todo o mundo, principalmente nas regiões do Mediterrâneo, onde as condições edafo-climáticas são ótimas para o seu desenvolvimento. Portugal não é exceção, apresentando-se como uma cultura com uma grande importância socioeconómica.

Tradicionalmente, a oliveira era cultivada em situações de sequeiro. Porém, hoje em dia, a rega é uma prática bastante utilizada nos olivais em Portugal e no mundo, por forma a aumentar não só a quantidade, mas também a qualidade da produção, bem como para reduzir os efeitos de alternância, mais conhecidos como fenómenos de safra e contra-safra (Fernandes-Silva et al., 2010; Ferreira et al., 2012; Santos et al., 2013).

A produção em Trás-os-Montes é na sua maioria de sequeiro. Porém, têm existido diversos projetos de criação e expansão de diversas barragens na região do Vale da Vilariça, que contribuem e criam condições para o aumento da área regada de olival (Lusa, 2021). No futuro, a rega é uma prática a ter nos olivais, de forma a garantir a sustentabilidade destes face às alterações climáticas.

Como é do conhecimento geral, o clima global tem vindo a sofrer alterações. À semelhança do que acontece a nível mundial, também no nosso País, estas alterações caracterizam-se por um aumento da temperatura média anual, irregularidade da precipitação e redução da sua quantidade, o que conduz à seca e desertificação.

Neste cenário, uma das estratégias adotadas pelos produtores portugueses, com o intuito de mitigar os efeitos negativos deste fenómeno e garantir o equilíbrio da produtividade e da qualidade da produção, passa pela adoção do regime de regadio como forma de exploração do olival. Todavia, a disponibilidade do recurso natural água para o regadio é cada vez mais escassa, e por isso, a gestão da rega ao nível da parcela agrícola, seja pelo momento ideal, e pela quantidade de água a aplicar, é crucial de forma a garantir a sustentabilidade do olival.

Para tornar a gestão da rega no olival eficaz e precisa, é de extrema importância conhecer, em tempo real, as necessidades hídricas reais da planta, de forma a permitir fazer ajustes rápidos na dotação rega. Assim, torna-se essencial o conhecimento da transpiração da oliveira, uma vez que, no momento nos permite perceber o uso da água

pela planta e nos diz se a planta se encontra em maior ou menor, conforto ou défice hídrico.

Cada vez mais, se tem vindo a estudar a rega deficitária em diversas culturas, desde vinhas a olivais, e os seus imensos benefícios. É neste contexto que se apresenta este estudo, tentando otimizar a quantidade de água a aplicar, de forma a reduzir o desperdício de água, tendo sempre em conta as necessidades hídricas da planta e nunca prejudicando o rendimento da mesma, uma vez que é um dos principais objetivos da olivicultura intensiva e super intensiva, cada vez mais comum em Portugal.

O presente estudo pretende avaliar o efeito de diferentes estratégias de rega nas relações hídricas da oliveira, através do estudo da dinâmica da transpiração ao nível da planta. Para isso é necessário identificar indicadores do estado hídrico de oliveiras, como o potencial hídrico, condutância estomática e teor relativo de água nas folhas, estudar a dinâmica da transpiração através da monitorização do fluxo de seiva no tronco e compreender o uso de água pela planta.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Considerações gerais sobre a cultura da oliveira

A oliveira (*Olea europaea* L.) é uma planta angiospérmica dicotiledónea (Figura 1) da família *Oleaceae* pertencente à "Tríade Agrícola Mediterrânica", junto dos cereais e da videira (Civantos, 2001), cuja origem gera ainda grande discordância. De acordo com o Conselho Oleícola Internacional (COI, 2020), algumas teorias remetem à Ásia Menor como centro de origem desta planta, uma vez que nos longos bosques da costa da Ásia Menor se encontram inúmeras oliveiras selvagens. Porém, também o Egito, Núbia, Etiópia, montanhas do Atlas ou algumas áreas da Europa são apontadas como eventual centro de origem.

Figura 1. Oliveira (*Olea europaea* L.)

É considerada uma das mais antigas plantas cultivadas, sendo a sua utilização "tão remota quanto a própria civilização" (Santos & Ramos, 1987). De tão antiga a sua existência, podemos encontrar esta cultura mencionada em livros tão antigos como a bíblia (Priego, 1932). Acredita-se que foi durante o período do Neolítico (cerca de 3000 a 4000 anos a.C) que se começou a domesticar esta cultura na Região do Mediterrânico Oriental (Civantos, 2001; Connor e Fereres, 2005).

A partir daí, a cultura da oliveira foi disseminada até às ilhas gregas pelos fenícios e, posteriormente até ao norte de África, Sicília, sul de Itália e Península Ibérica, não só por este povo, mas também pelos romanos, hebreus, árabes, cartagineses e gregos (Santos & Ramos, 1987; Civantos, 2001). Mais tarde, no século XVI, após a descoberta do continente americano, o cultivo da oliveira estendeu-se até ao México, Perú, Chile e Argentina e no século XVIII aos Estados Unidos (Pansiot & Rebour, 1961; Civantos, 2001).

Atualmente, encontramos oliveiras dispersas por toda a Região do Mediterrânico, conhecida pelos seus verões quentes e com baixa pluviosidade, em áreas onde não é possível produções intensivas devido ao tipo de solo (solos pouco profundos), topografia (terrenos com elevado declive) ou escassez de água (Connor & Fereres, 2005). Muitas destas plantações tradicionais têm sido convertidas em plantações mais intensivas, como é o caso do Alentejo, onde já se encontram muitos olivais da "Nova Olivicultura", em que se usam plantas mais produtivas, formas de condução mais intensivas, bem como o aumento de densidade de plantas (olivais em sebe), mecanização, poda, rega e uso recorrente de fitoquímicos (Torres, 2007).

A oliveira é uma planta cujo ciclo biológico é bienal (Figura 2) uma vez que, ao contrário do crescimento vegetativo que se completa num ano, a frutificação necessita de duas estações de crescimento (Romero, 1994). Isto significa que, em simultâneo, está a ocorrer a formação de gomos, indução floral e iniciação floral do ano n e o desenvolvimento das inflorescências, floração, crescimento e maturação dos frutos do ano seguinte, n+1. Assim, uma elevada frutificação no ano n pode levar à inibição da indução floral dos gomos (que darão origem à frutificação do ano seguinte), devido à competição pelos recursos energéticos, contribuindo para a alternância da produção (Rodrigues & Correia, 2009).

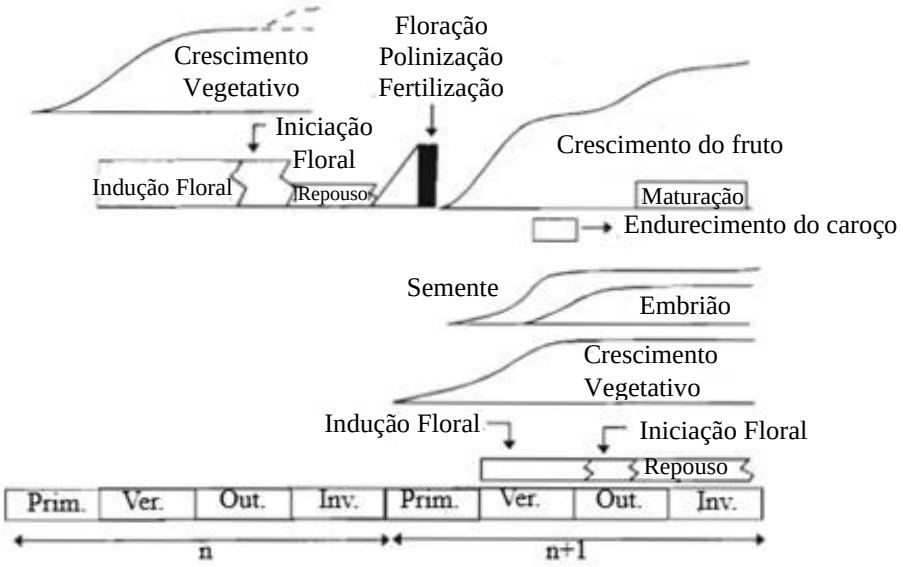


Figura 2.Ciclo bienal da oliveira (Fernandes Silva, 2008)

A oliveira é resistente a climas adversos, nomeadamente excesso de calor (até 35-38 ºC) ou frio (até -10 ºC) e ventos fortes, porém, as temperaturas ótimas para o início da vegetação rondam os 10-12 ºC, para a floração os 15-19 ºC e para a fecundação os 21-22 ºC. No que diz respeito à acumulação de horas de frio para assegurar uma correta floração, esta cultura necessita de, no mínimo, 400 horas com temperaturas iguais ou inferiores a 9 ºC (Maillard, 1981).

Ao nível do solo, este deve ser bem arejado e com boa drenagem, uma vez que a planta é muito sensível ao encharcamento, asfixia radicular e deficiente arejamento. A textura deve ser franca, e não devem existir camadas impermeáveis até à profundidade máxima atingida pelas raízes (cerca de 50-80 cm) (DGADR, 2010).

2.2. Caracterização do setor da olivicultura em Portugal

Em Portugal podemos encontrar olivais em diferentes sistemas de cultivo: tradicionais, intensivos e superintensivos. Os olivais tradicionais têm menos de 100 árvores/ha, os intensivos 250-350 árvores/ha e os superintensivo, cerca de 2000 árvores/ha. Geralmente, nos olivais tradicionais encontramos plantas já envelhecidas, enquanto nos restantes as plantas encontradas são mais jovens e mais produtivas. Os olivais intensivos e superintensivos estão associados a sistemas produtivos modernos, dotados de sistemas de rega (geralmente localizada) e fortemente assentes na

mecanização (desde tratamentos fitossanitários e podas até à colheita). Todos estes fatores, permitem que os olivais intensivos e superintensivos entrem em produção mais precocemente. Entre os fatores que resultaram da modernização do olival em Portugal, a adoção da rega é, sem dúvida, o que mais contribuiu para marcar o ponto de viragem da exploração do olival e para os ganhos de produtividade e retorno económico desta cultura. (Barroso *et* al., 2013; Valverde, 2013).

Em Portugal, a produção de azeitona tem aumentado em resposta à procura de azeite, a nível mundial. Este aumento deve-se ao aumento da produtividade por hectare e ao crescente reconhecimento do azeite português, que se traduz no aumento do preço do azeite e, consequentemente, no lucro do produtor. Assim, a importância económica deste setor, tem crescido no nosso país (Avillez, 2016).

As principais variedades utilizadas são a Galega (variedade dominante, podendo ser encontrada em todas as regiões produtoras), Carrasquenha, Cordovil, Cobrançosa e Verdeal (Casa do Azeite, 2021). A Galega é uma árvore de porte médio-grande, com forte potencial produtivo destinado principalmente à produção de azeite. Em Trás-os-Montes destacam-se as variedades Cobrançosa (de porte médio e com boas produções, destinado principalmente para azeite, com características ideais para colheita mecânica) e Negrinha (de porte médio-pequeno e com baixo rendimento em azeite, pelo que se destina principalmente para conserva) (DGADR, 2010).

Segundo o instituto nacional de estatística (INE, 2020), em 2018 existiam em Portugal 359 949 ha de olival, 98% dos quais destinados à produção de azeitona para azeite. É no Alentejo (Figura 3), graças ao regadio do Alqueva (Avillez, 2016), que encontramos a maior área de produção oleícola portuguesa (50% da área total). Segue-se Trás-os-Montes com 80450 ha (INE, 2020).

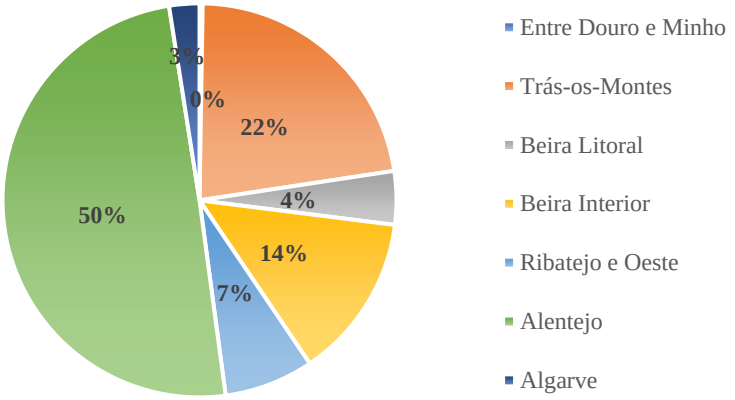


Figura 3. Área de olival por região agrária (Fonte: INE, 2020)

Ao longo dos últimos 10 anos, o comportamento da produção não tem sido constante, isto é, têm-se observado fenómenos de alternância (Figura 4). Ainda assim, nota-se um claro aumento de produção de azeitona, cujo destino é a produção de azeite devido, principalmente ao aumento de produção no Alentejo (graças ao regadio do Alqueva e á implantação de olivais superintensivos). Em oposição, a produção de azeitona de mesa tem-se mantido estável, tendo-se observado a produção mais baixa no ano de 2011 (9 047 t) e a produção mais alta o ano de 2019 (94 2979 t).

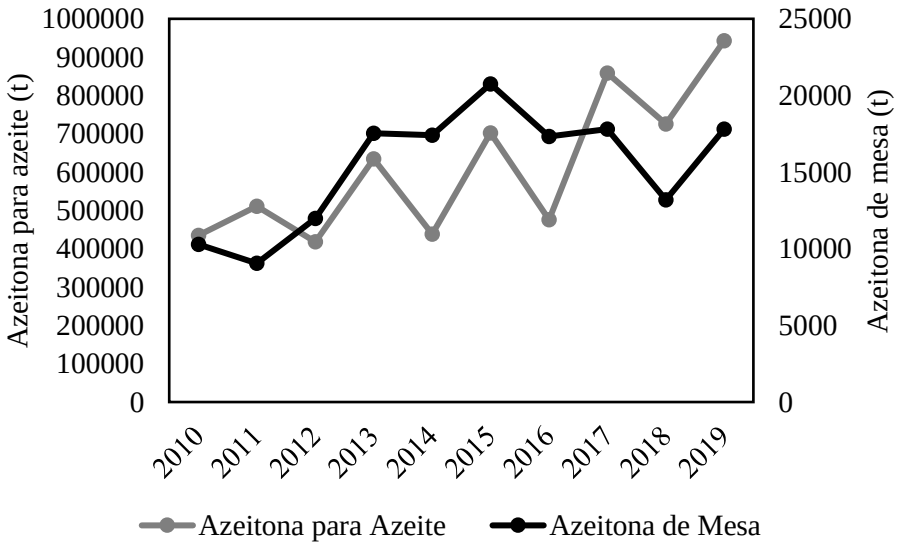


Figura 4. Produção de azeitona para azeite e azeitona de mesa nos últimos 10 anos (Fonte: INE, 2020)

No ano de 2019, a produção total de azeitona foi de 960 775 t, das quais 98% se destinaram a produção de azeite. Na campanha anterior (2018), o Alentejo foi a região

onde a produção foi maior (539 487 t), seguindo-se Trás-os-Montes e a Beira Interior com 108 821 t e 34 544 t, respetivamente (INE, 2020).

A produção de azeite, à semelhança da produção de azeitona para esse fim, também reflete um aumento em Portugal nos últimos 10 anos (COI, 2020). Em oposição, o consumo desta gordura, que faz parte da dieta Mediterrânica, tem-se mantido, mais ou menos constante, podendo apresentar ligeiros decréscimos. Deste modo, a partir de 2015-16, Portugal tornou-se autossuficiente no que refere ao azeite (Figura 5)

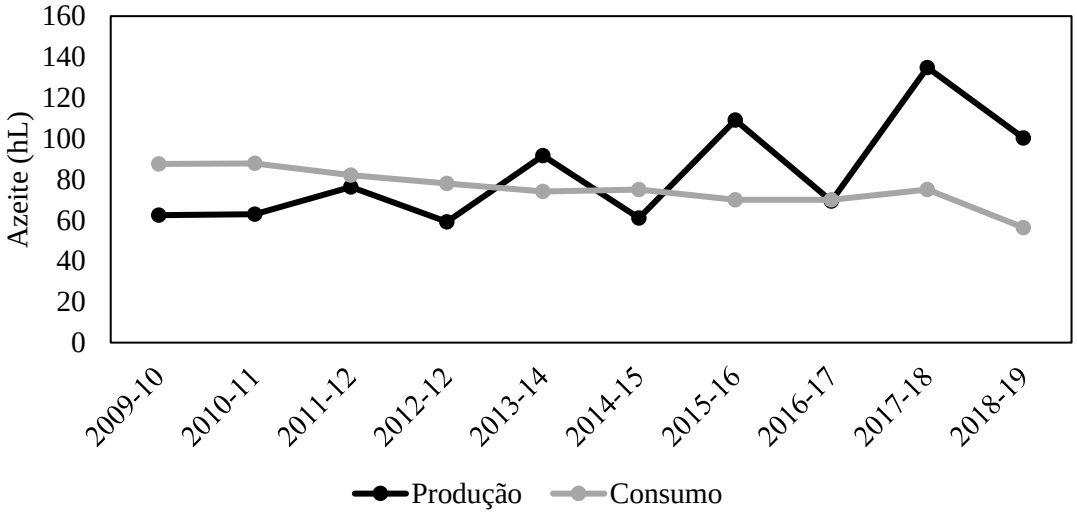


Figura 5. Consumo e produção de azeite em Portugal nos últimos 10 anos (Fonte: COI, 2020)

A região transmontana é uma das principais regiões produtoras de azeite (Tabela 1), representando 15% da produção total de azeite em Portugal (INE, 2020).

Tabela 1. Azeite Produzido (hL) por região geográfica (Fonte: INE, 2020)

Entre Douro e Minho	Trás-os-Montes	Beira Litoral	Beira Interior	Ribatejo e Oeste	Alentejo	Algarve	Açores	Madeira
2 166	164 945	25 782	43 295	52 968	803 235	2 043	0	0

De toda a região, é nos concelhos da Terra Quente Transmontana que a olivicultura tem maior expressão devido às condições climáticas particulares da região, com predominância das variedades Cobrançosa, Verdeal Transmontana, Madural e Cordovil, enquanto na região norte de Trás-os-Montes (sul de Bragança e norte de Macedo de

Cavaleiros e Vimioso) predomina a variedade Santulhana. Já em Freixo de Espada a Cinta, Moncorvo e Mogadouro encontramos maioritariamente Negrinha de Freixo, muito utilizada como azeitona de mesa, quando regada (Rodrigues *et al.*, 2018).

2.3. Mecanismos de adaptação ao défice hídrico

Muitas são as diferentes definições de seca. Se para uns corresponde ao período em que a quantidade de precipitação não satisfaz a evaporação, para outros corresponde ao período em que as plantas sofrem efeitos negativos, tais como o decréscimo de crescimento e/ou rendimento, por falta de água apesar de poder existir alguma água no solo (Passioura, 1996). Estas ocorrem praticamente em todo o mundo, sendo agravadas por elevadas temperatura, elevada radiação solar, ventos fortes e baixa humidade relativa (Mishra & Singh, 2010).

Chan & Wallace (1987) citado por Mishra & Singh (2010) acentuam a diferença entre seca e onda de calor, uma vez que a segunda dura um curto período de tempo (aproximadamente uma semana), enquanto que a seca pode durar meses ou anos.

Alguns dos efeitos negativos que a falta de água provoca nas plantas são a redução do crescimento, rendimento e faculdade germinativa, decréscimo de assimilação de nutrientes, uma vez que estes se deslocam na planta dissolvidos na água, redução da respiração, transpiração e, consequentemente da fotossíntese, devido ao fecho total ou parcial dos estomas. Além disso, o défice hídrico pode provocar danos oxidativos nas plantas, uma vez que pode haver formação de alguns radicais de oxigénio, que em contacto com as proteínas e lípidos se podem tornar altamente tóxicos. Através de mecanismos morfológicos, fisiológicos ou moleculares, as plantas conseguem tolerar melhor a falta de água e, por conseguinte, reduzir alguns destes efeitos não desejados (Farooq *et al.*, 2009).

No caso da oliveira, esta desenvolve um sistema radicular pouco profundo, porém bastante extenso à superfície (pode ir até à área projetada pelo copado), podendo assim explorar um grande volume de solo, ao contrário de muitas outras árvores de fruto. Esta característica permite a planta absorver água quando a sua disponibilidade é baixa. A generalidade das raízes crescem de forma mais ou menos paralela ao solo, sem existir uma raiz principal e dominante (Pansiot & Rebour, 1961; Fernández *et al.*, 1992). O desenvolvimento radicular depende de diversos fatores, tais como a textura e estrutura do

solo (sendo desaconselhados solos mal drenados, uma vez que a oliveira é muito sensível à hipoxia), a presença ou ausência de rega, a densidade de plantas e a variedade utilizada (Guerrero Garcia, 1991; Fernández & Moreno, 2000; Bacelar *et al.*, 2009).

A maioria das raízes têm um diâmetro bastante reduzido, muitas vezes inferior a 0,5 mm, o que favorece em muito a capacidade de absorção de água (Fernández *et al.*, 1991).

Também as folhas possuem mecanismos que permitem à oliveira uma melhor adaptação ao defice hídrico, embora estes mecanismos possam ser dificultados com o decorrer da idade das folhas, já que, como se sabe, estas podem ter até 3 anos (Fernández & Moreno., 2000; Bacelar *et al.*, 2009).

A radiação solar intercetada pelas folhas é diminuta, uma vez que estas são de reduzida dimensão. Além disso, em condições de defice hídrico extremo, estas são expostas verticalmente, devido a um movimento para-heliotrópico, e desenvolvem um enrolamento sobre si mesmas (Schwabe & Lionakis, 1996; Bacelar *et al.*, 2009). A página superior apresenta uma cor verde escuro muito brilhante, devido à presença de uma espessa cutícula de cera, que impede a perda de água através desta membrana cuticular, fazendo com que a transpiração se dê apenas através dos estomas. Estes, encontram-se somente na página inferior (Fernández & Moreno, 2000) e estão protegidos por tricomas pluricelulares (conferindo à folha uma cor cinzenta-prateado), uma vez que reduzem a transpiração e refletem a luz solar (Bacelar *et al.*, 2009).

Outra característica que permite uma melhor adaptação à seca é a compacta e espessa camada do mesófilo, que ao reduzir os espaços intercelulares reduz a proporção das paredes celulares expostas ao ar, reduzindo assim a condutância da parede celular (Chartzoulakis *et al.*, 1999; Bosabalidis & Kofidis, 2002).

Outro mecanismo que visa reduzir a perda de água é a redução da abertura estomática (Fernández & Moreno), que por sua vez irá afetar as trocas gasosas. Como descrito anteriormente, os estomas encontram-se somente na página inferior das folhas de oliveira. Estes são densos (400-600 estomas mm^{-2}) e de reduzida dimensão (Bacelar *et al.*, 2009). À semelhança de outras culturas, à medida que o stress hídrico aumenta a abertura estomática diminui, podendo levar ao fecho total dos estomas em condições extremas. Assim, é presumível que durante a manhã os estomas apresentem a sua abertura

máxima, que irá diminuindo ao longo do dia, com o aumento da temperatura, atingindo o fecho máximo ao meio dia solar. O mesmo acontece com as estações do ano, isto é, nas estações mais quentes a abertura estomática é menor do que nas estações mais frias (Fernández *et al.*, 1997; Tognetti *et al*., 2009; Fernandes-Silva *et al*., 2016). Em suma, o mecanismo do fecho dos estomas apresenta uma relação direta com o decréscimo do potencial hídrico e com o aumento do défice de pressão de vapor, VPD (Giorio *et al.*, 1999; Moriana *et al.*, 2002; Fernandes-Silva *et al.* 2016).

2.4. Consumo de água no olival

Embora exista pouca bibliografia que refira as necessidades hídricas do olival, Pansiot & Rebour (1961) referem que, embora as necessidades hídricas dependam da variedade em uso e das condições edáficas e climáticas do olival, a exigência em água é mais elevada em olivais cujo objetivo é a produção de azeitona de mesa do que quando se pretende a produção de azeitona para transformação em azeite, uma vez que a água é indispensável para a obtenção de frutos de maior calibre.

É sabido que a carência de água por défice hídrico em alturas críticas do ciclo cultural, nomeadamente no crescimento dos ramos, desenvolvimento dos botões florais, floração, vingamento do fruto, crescimento do fruto devido não só à divisão como também à expansão celular e na acumulação de azeite, pode levar à diminuição da quantidade e qualidade de produção e acentuando os fenómenos de alternância.

2.5. Estratégias de rega no olival

Como referido anteriormente, cada vez mais se recorre à rega nos olivais para reduzir efeitos negativos não desejados. Por forma a usar a água de uma forma mais sustentável não só se deve recorrer a indicadores do estado hídrico da planta para determinar a época ideal de rega, como se devem adotar diferentes estratégias de rega deficitária. Com estas estratégias pretende-se fornecer à planta uma quantidade de água inferior à evapotranspiração cultural (ET), sem haver redução do rendimento (Ramos & Santos, 2009)

Conhecem-se diversas estratégias de rega deficitária, tais como a rega deficitária regular contínua ou rega deficitária contínua (SDI), rega deficitária controlada (RDI) onde se verifica uma interrupção da dotação de rega e a rega parcial das raízes (PRD).

Conhecem-se ainda outras estratégias de rega deficitária utilizadas em olival, nomeadamente a rega suplementar ou de complemento e a rega deficitária de baixa frequência (Fereres & Soriana, 2007; García-Tejero *et al.*, 2011).

De acordo com Martín de Santa Olalla *et al.* (2005) citado por Toureiro *et al.* (2007) é necessário considerar diversos fatores, como as características edáficas (textura, estrutura, profundidade e reserva de água utilizável) e climáticas (temperatura, precipitação, humidade relativa e radiação solar) do local, o ciclo cultural, períodos críticos bem como resistência ao défice hídrico, características associadas à sementeira e o método de rega, que poderão condicionar a possibilidade de aplicação destas estratégia de rega deficitária.

Uma das grandes desvantagens de usar estratégias de rega deficitária a longo prazo, é poder provocar o aumento da salinização dos solos, uma vez que ao reduzir a dotação de rega a circulação de sais é menor, podendo ficar acumulados no solo (Hsiao *et al.*, 2007; Alcon *et al.*, 2014). A seguir, descrevem-se as estratégias de rega deficitária mais utilizadas no olival.

2.5.1. Rega Deficitária Contínua

A rega deficitária contínua ("sustained deficit irrigation", SDI) consiste em garantir uma quantidade de água inferior à evapotranspiração cultural durante todo o período de rega. Esta prática permite um défice hídrico gradual, o que faz com que as plantas mais facilmente se adaptem à falta de água (Fereres & Soriana, 2007; Caruso *et al.*, 2013; Intrigliolo *et al.*, 2013).

Em 2002, Patumi *et al.*, concluíram que fornecer à planta, de forma contínua, 60% da evapotranspiração (SDI 60%) era o ideal para obter um elevado rendimento, uma vez que ao aplicar 100% da evapotranspiração o rendimento não aumentava.

2.5.2. Rega Deficitária Controlada

A rega deficitária controlada ("regulated deficit irrigation", RDI) consiste em regar a totalidade da ET em algumas fases específicas do ciclo, mais sensíveis ao defice hídrico. Nos restantes períodos reduz-se ou elimina-se completamente a rega, uma vez que não prejudica a produção. Note-se que para esta estratégia de rega é muito importante conhecer a fisiologia da planta, bem como eventuais períodos críticos sensíveis ao défice

hídrico (Wakrim *et al.*, 2005; Girona *et al.*, 2005; Toureiro *et al.*, 2007; Fernández *et al.*, 2013).

Como referido anteriormente, no capítulo "Caracterização Nacional do Setor", algumas das fases sensíveis ao défice hídrico são a fase da floração, do vingamento e crescimento do fruto e a fase de acumulação de azeite. Pelo contrário, a fase do endurecimento do caroço é uma fase que suporta a escassez de água (Pavão, 2016).

Em 1909 e 2002, Alegre *et al.*, estudaram a rega deficitária controlada na variedade Arbequina em Espanha. Durante os meses de julho e setembro (fase do endurecimento do caroço), reduziram a rega para 75, 50 e 25% da evapotranspiração. Após o estudo, os autores concluíram que esta estratégia de rega deficitária pode ser uma boa opção, sendo o tratamento RDI 75% o mais recomendado.

2.5.3. Rega Parcial das Raízes

Na rega parcial das raízes ("partial root drying", PRD) rega-se apenas metade do sistema radicular da planta durante um determinado período, alternando a parte regada e a não regada. Esta estratégia permite economizar cerca de metade da água utilizada, mantendo o rendimento (Zegbe *et al.*, 2004; Dorji *et al.*, 2005; Shahnazari *et al.*, 2007; Castricini *et al.*, 2019).

A metade do sistema radicular não regada vai estimular a síntese de ácido abscísico, levando ao fecho de parte dos estomas, melhorando assim a eficiência do uso de água sem reduzir o rendimento esperado (Cifre *et al.*, 2005; Moutinho-Pereira *et al.*, 2009). Fernández *et al.* (2006) chegaram à conclusão que esta estratégia era cara e difícil de gerir e não oferecia qualquer vantagem face à estratégia de rega deficitária controlada.

2.5.4. Rega suplementar ou de complemento

Esta estratégia de rega é utilizada sobretudo em zonas húmidas, onde a precipitação por si só cobre a quase totalidade das necessidades de água por parte das culturas, e onde os períodos de défice hídrico são reduzidos. A rega de complemento consiste em regar a cultura poucas vezes, apenas em situações de défice hídrico extremo (Debaeke & Aboudrare, 2004; Fereres & Soriana, 2007).

2.5.5. Rega deficitária de baixa frequência

Nesta estratégia deficitária rega-se o solo até este atingir a capacidade de campo, ou seja, até que a reserva de água utilizável esteja no máximo e, posteriormente, deixa-se a cultura esgotar toda a água armazenada no solo, até um certo nível em que não provoque danos à planta. O número de regas, bem como o período entre diferentes aplicações de água vai depender fortemente do tipo de solo, do clima verificado e do tipo de cultura em questão (García-Tejero *et al.*, 2011).

2.6. Indicadores do estado hídrico da oliveira

Para uma correta gestão e programação da rega das culturas é essencial utilizar a planta como um "biossensor", isto é, através da integração da informação de diversos indicadores do estado hídrico, programar a dotação de rega necessária para manter a planta em conforto hídrico de forma a evitar que sejam desencadeados mecanismos que reduzam a quantidade e calibre da produção.

Alguns dos indicadores mais utilizados para determinar o estado hídrico na cultura da oliveira são o potencial hídrico foliar ou do ramo, conforme as dimensões das folhas, (de base ou de meio dia solar), condutância estomática, variação do diâmetro do tronco, conteúdo de água no tronco, conteúdo relativo de água nas folhas (RWC), temperatura do copado, transpiração (pelo fluxo de seiva), entre outros (Moriana & Fereres, 2002). Seguidamente, serão abordados os indicadores que foram utilizados neste estudo.

Potencial hídrico

O potencial hídrico (Ψ), expresso em unidades de pressão "traduz fisicamente o estado termodinâmico da água", ou seja, permite interpretar os movimentos de água no continuum solo-planta-atmosfera (Fernandes da Costa & Marenco, 2007; Moutinho-Pereira *et al.*, 2009).

Com o auxílio de uma câmara de pressão tipo Scholander é possível determinar o potencial hídrico foliar (em culturas cujas folhas são de grandes dimensões) ou de ramo (em culturas cujas folhas são pequenas, e por isso, se torna mais fácil a determinação usando um pequeno ramo). Este tipo de avaliação do potencial hídrico é muito utilizado na oliveira. O que foi feito neste estudo foi o do ramo.

Embora seja de fácil uso, tem a desvantagem de não ser uma técnica contínua e automática (Moriana *et al.*, 2002). Este pode ser medido antes do nascer do sol (potencial hídrico de base) ou ao meio dia solar (Choné *et al.*, 2001; Moriana & Fereres, 2002), apresentando valores mais negativos quanto maior for o défice hídrico da planta (Pérez-Lopez *et al.*, 2007; Fernandes-Silva et al. 2010). Desta forma, os valores de potencial hídrico de base são superiores face aos valores obtidos na medição ao meio dia solar, uma vez que ao meio dia solar o défice hídrico é maior do que ao amanhecer.

Os valores de Ψ para a oliveira variam muito na diferente literatura consultada, uma vez que o seu valor depende muito das condições meteorológicas, da humidade do solo e da variedade e idade das plantas. Além disso, ao longo do dia, os valores variam, diminuindo progressivamente até ao meio dia solar e aumentando após esse momento. Assim, oliveiras bem regadas podem apresentar ao amanhecer, valores entre -0,5 e -1,2 MPa e ao meio dia solar, valores entre -1,5 e -2,75 MPa, enquanto que tratamentos de défice hídrico podem atingir valores de –1,2 e -6 MPa ao amanhecer e -2,7 e -7 MPa ao meio dia solar (Fernández *et al.*, 2006; Tognetti *et al.*, 2009; Fernandes Silva *et al.*, 2016).

Condutância estomática

Como é sabido, a abertura dos estomas varia com a disponibilidade de água. O défice hídrico no solo e, consequentemente na planta, promove o fecho dos estomas, reduzindo assim a condutância estomática (g_s). Este decréscimo leva à redução da taxa de transpiração, ou seja, à redução das trocas gasosas entre a planta e a atmosfera, uma vez que ao fechar os estomas, irá diminuir a perda de água, bem com a entrada de CO2, podendo diminuir a produtividade (Paiva *et al.*, 2005). Assim, quanto maior o défice hídrico, menor será o valor $g_{s.}$ A condutância estomática pode ser medida com o auxílio de um porómetro (Pimentel & Hébert, 1999; Naves-Barbiero *et al.*, 2000).

Em 1999, os autores Alegre *et al.*, estudaram a rega deficitária controlada (RDI 75%, RDI 50% e RDI 25%). Neste estudo, verificou-se que os valores de g_s mais baixos eram obtidos na estratégia RDI 25% (entre 150 e 200 mmol m^{-2} s^{-1}), enquanto os valores mais elevados (350 mmol m^{-2} s^{-1}) no tratamento de rega plena (100% ET). Em 2006, Fernández *et al.*, chegou a conclusões semelhantes, uma vez que os valores de g_s foram superiores no controlo face às estratégias de rega RDI e PRD. Em suma, quanto maior o défice hídrico menor os valores g_s atingidos. Isto deve-se ao facto de, quanto maior o

conforto hídrico das plantas, maior a abertura estomática. Por outro lado, quando uma oliveira está em stress hídrico, fecha os estomas por forma a guardar as suas reservas de água.

Teor relativo em água

O teor relativo de água nas folhas (RWC) é outro indicador hídrico muito utilizado na cultura da oliveira, que não requer equipamentos complexos (Moutinho-Pereira *et al.*, 2009).

Através da medição do peso fresco, peso túrgido e peso seco das folhas, consegue-se "expressar o teor de água da planta, em percentagem, num dado momento" (Smart & Bingham, 1974; González & González, 2001).

À semelhança dos anteriores, também os valores de RWC variam consoante a época do ano, variedade, condições meteorológicas, etc. De uma forma geral, olivais bem regados, com valores de potencial hídrico e teor relativo de água nas folhas mais elevados, apresentam valores acima de 90%, enquanto que olivais com rega deficitária apresentam valores mais baixos. Por exemplo, quando Ψ é superior a -3,5 MPa, os valores de RWC são superiores a 75%, enquanto que quando Ψ é -7 MPa, RWC ronda os 40% (Fernández & Moreno, 2000; Wahbi *et al., 2005;* Boussadia *et al.*, 2008).

2.7. Avaliação da transpiração por métodos de medição do fluxo de seiva

Um dos métodos bastante utilizado para determinar as necessidades hídricas das plantas é a medição da transpiração desta, através do fluxo de seiva. Este tem a vantagem de registar medições contínuas. Segundo Fernandes Silva (2008) usam-se maioritariamente os métodos baseados no "transporte de calor pela seiva", isto é, utilizam o calor como marcador do movimento da seiva, podendo-se agrupar em três grupos, tais como o método da dissipação do calor, método da velocidade do impulso de calor e método do balanço do calor no tronco.

O método de dissipação de calor, também conhecido como método de Granier (1985; 1987) calcula o fluxo de seiva através da diferença térmica entre duas sondas inseridas radialmente nos vasos xilémicos do tronco. Uma das sondas é continuamente aquecida, havendo posteriormente o transporte do calor por convecção no xilema caso

haja fluxo de seiva ou por condução na madeira, na ausência de fluxo de seiva. A outra sonda é colocada, "à temperatura natural dos tecidos do tronco" numa posição vertical inferior. Esta receberá o calor conduzido por convecção no xilema, reduzindo assim a diferença de temperatura entre as duas sondas (Smith & Allen, 1996; Fernandes Silva, 2008; Mahjoub *et al.*, 2009; Vergeynst *et al.*, 2014).

Quanto ao método da velocidade do impulso do calor (Heat Pulse Velocity), este assenta no princípio da compensação do impulso de calor (Swanson, 1994). Para determinar a transpiração segundo este método, são colocadas radialmente no tronco três sondas. Uma das sondas emite um impulso de calor não contínuo (contrariamente ao anterior). As restantes sondas, contêm termopares a diferentes profundidades (normalmente a 5, 15, 25 e 40 mm de profundidade). Uma das sondas é colocada a jusante do emissor de calor e a outra a montante (Figura 6), a diferentes distâncias da sonda que emite calor. Normalmente, a sonda a montante encontra-se mais próxima do elemento de aquecimento (encontra-se a uma distância de 0,5 cm do emissor de calor, enquanto a sonda a jusante se encontra a 1 cm deste), pelo que, após o impulso de calor, a temperatura nesta se torna mais elevada. Através do movimento da seiva, o calor é transportado até à sonda a jusante, até ao momento em que a temperatura nos dois sensores seja semelhante. A velocidade do fluxo de seiva é calculada através da distância dos dois sensores e do tempo necessário até que a temperatura entre eles se assemelhe (Edwards & Warwick, 1984; Smith & Allen, 1996; Fernandes Silva, 2008).

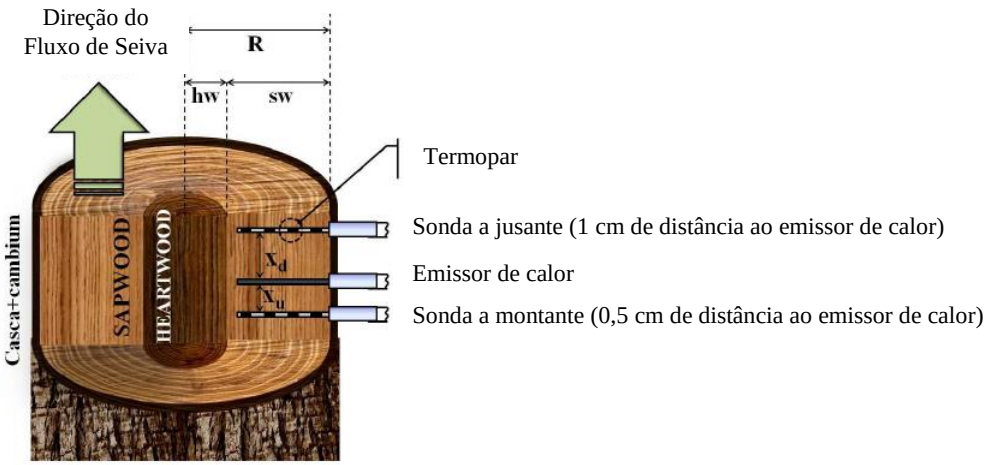


Figura 6. Esquema de instalação das sondas no tronco (fonte: Valverde, 2013)

Esta técnica foi várias vezes usada por diversos autores para quantificar a transpiração e o uso de água na oliveira. Fernández, *et al.*, 2001, Santos, *et. al.*, 2007 e Valverde, 2013 são exemplos de alguns desses estudos, onde através do método de velocidade do impulso de calor se determinou a transpiração e o uso de água na cultura.

No método do balanço do calor (Stem Heat Balance) são colocados um elemento de aquecimento flexível em torno do tronco, que emite uma quantidade de calor conhecida, e sensores com termopares acima e abaixo desse elemento maleável que medem as perdas de calor por condução (ao longo do tronco) e por convecção (relacionadas com o fluxo de seiva). Através do cálculo de balanços de calor, isto é, através das diferenças entre o calor de seiva fornecido e as perdas verificadas, podemos determinar o fluxo de seiva e, consequentemente a transpiração da planta (Sakuratani, 1981; Grime & Simmonds, 1994; Smith & Allen, 1996; Grime & Sinclair, 1999).

3. Material e métodos

3.1. Localização e caracterização do ensaio experimental

O ensaio experimental foi desenvolvido num olival regado, com variedade Cobrançosa (6 × 6 m) com aproximadamente 1,5 ha localizado em Vilarelhos (41°19'54.03"N; 7° 2'32.87" W), propriedade do engenheiro Manuel Afonso, no concelho de Alfândega da Fé, no Vale da Vilariça (Figura 7).

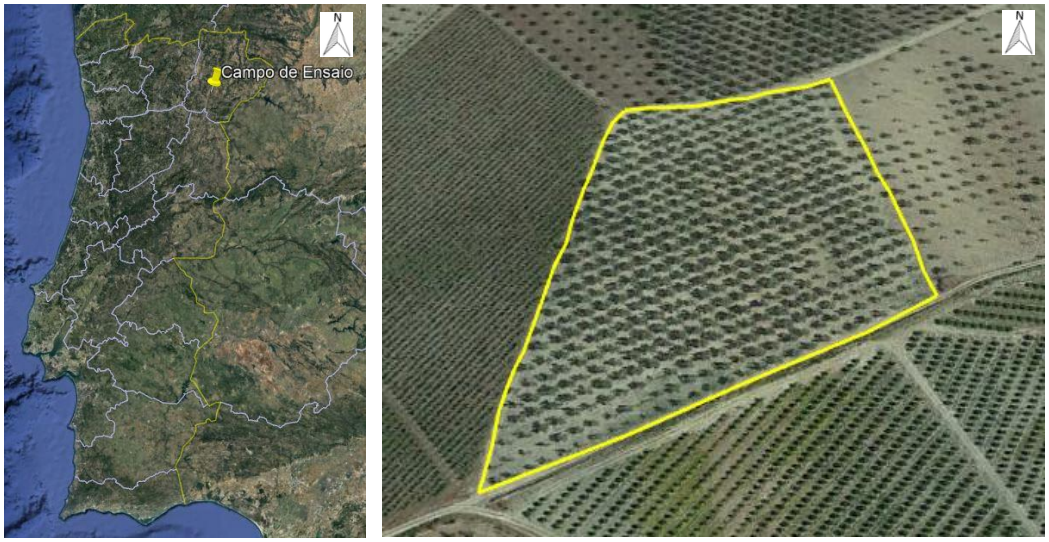


Figura 7. Localização do campo experimental (41°19'54.03"N; 7° 2'32.87" W)

O olival estava dividido em seis estratégias de rega diferentes (Figura 8): dois tratamentos bem regados (120% ET e 100% ET) e os restantes com rega deficitária, dois deles com imposição de um défice hídrico contínuo (SDI 60% e SDI 30%) desde o final da primavera até ao início do outono e os outros dois em que houve redução e interrupção da rega na fase do endurecimento do caroço (RDI 100% e RDI 60 %). Ou seja, nos tratamentos 120 % ET (T1) e 100 % ET (T2) regou-se durante toda a estação com uma quantidade de água acima da exigida pela planta, 120 % e 100% das necessidades da planta (ET), respetivamente. Note-se que o cálculo da ET é explicado no capítulo 3.1 (localização e caracterização do ensaio experimental). Nos tratamentos SDI 60% (T3) e SDI 30% (T4) a quantidade de rega também foi contínua ao longo da estação de rega, porém a quantidade de água aplicada era inferior à quantidade exigida pelas plantas (60 % ET e 30 % ET, respetivamente). Quanto aos restantes tratamentos, no RDI 60% deu-se à planta 60% da ET e na fase do endurecimento do caroço (25/07) interrompeu-se a rega. Já no RDI 100% aplicou-se 100% ET às plantas, porém na fase do endurecimento

do caroço, em vez de se interromper totalmente a rega, aplicou-se 10% das necessidades. A rega foi restabelecida após a terceira semana de agosto para o mesmo critério de dotações adotado antes da fase do endurecimento do caroço.

Cada tratamento era constituído por três linhas: duas linhas de bordadura e na linha central escolheram-se de forma aleatória 5 árvores para a realização das medições.

Para este estudo foram somente analisados os tratamentos T2, T4 e T5 (100% ET, SDI 30% e RDI 100%, respetivamente).

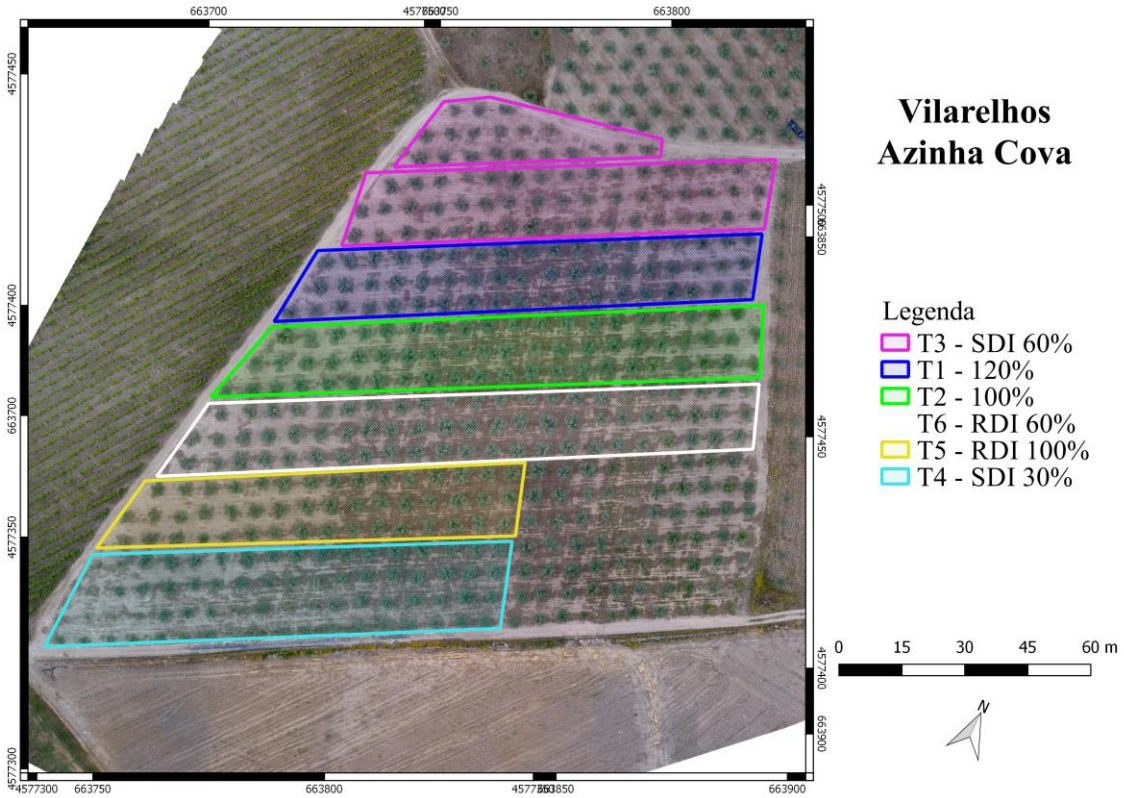


Figura 8. Estratégias de rega do campo experimental

As observações e medições em campo foram feitas nos meses de maio a outubro do ano de 2019. A rega teve início na primeira semana de junho e terminou na segunda semana de outubro. As necessidades de rega (NR) foram calculadas pela diferença entre a evapotranspiração (ET) e a precipitação R, tendo em consideração uma eficiência de 90% do sistema de rega.

Para calcular a evapotranspiração multiplicou-se a evapotranspiração de referência (ET_0), o coeficiente cultural (K_c) e o coeficiente redutor da cultura (Kr), que não pode ser superior a 1, como é proposto pela FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977 citado por Jabloun & Sahli, 2008). Por sua vez, a evapotranspiração de referência (ET_o) foi calculada pela equação FAO Penman-Monteith (Allen *et al*., 1998). O valor de K_c utilizado foi de 0,45 de acordo com trabalhos anteriores nesta região e variedade (Fernandes-Silva *et al*., 2010). O sistema de rega era composto por uma linha de gotejadores espaçados entre si 1 m, com um débito de 4 L h^{-1}.

3.2. Variedade em estudo

A variedade em estudo foi a "Cobrançosa". Esta variedade autóctone está inserida na DOP Azeite de Trás-os-Montes (Casa do Azeite, 2020).

As oliveiras da variedade "Cobrançosa" caracterizam-se pelo seu vigor pequeno a médio, com folhas compridas e estreitas, com inflorescências com um comprimento médio-curto, com um número "mediano" de flores por inflorescência, cuja produção é regular e com bom rendimento em azeite (Leitão *et al*., 1986). Um dos motivos pelos quais os produtores procuram esta variedade é a fraca sensibilidade à gafa e o bom rendimento em azeite (Barros Maia, 2010; Magno Viva, 2018). Quanto ao fruto, este é de tamanho médio, com uma "forma apical pontiaguda ou arredondada" (Serviruri, 2020).

3.3. Caracterização climática

O Vale da Vilariça, onde se insere a localidade de Vilarelhos pertence à sub-região da Terra Quente Transmontana. Esta região é constituída pelos concelhos de Alfândega da Fé, Carrazeda de Ansiães, Macedo de Cavaleiros, Mirandela e Vila Flor (Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana, 2020). Em termos climáticos é caracterizada por verões longos, muito quentes e secos, ocorrência frequente de nevoeiros de radiação nos meses de inverno e por períodos livres de geada mais longos (de abril a meados de novembro) quando comparado com a Terra Fria (Rodrigues *et al.*, 2006). A temperatura média anual desta região é superior a 14 ºC e a precipitação média anual situa-se entre os 400 e 600 mm. Na Terra Quente Transmontana, devido à topografia é

necessário ter em atenção os fenómenos de inversão térmica muito rápidos, principalmente nas zonas baixas dos vales (Rodrigues *et al.*, 2006).

Uma vez que o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) não dispõe de ficha climatológica de Vilarelhos, a comparação dos dados meteorológicos será feita com a ficha climatológica de Mirandela, por se tratar da estação meteorológica mais próxima. Esta apresenta os valores médios para o período de 1971-2000.

Quanto aos valores observados no ano de estudo (2019), foram obtidos por uma estação meteorológica localizada nas proximidades do olival do ensaio, em Santa Comba da Vilariça.

Temperatura média

De acordo com as normais climatológica 1971-2000, a temperatura média anual é de 14,3 ºC, sendo julho o mês mais quente e janeiro o mais frio, com temperaturas médias de 23,7 ºC e 5,5 ºC, respetivamente. Quanto à temperatura média máxima diária, esta não ultrapassa os 31,8 ºC e a temperatura média mínima diária não apresenta valores inferiores a 1,2 ºC.

No ano de 2019 (ano em que foi realizado o estudo) o padrão da variação da temperatura média mensal é semelhante as normais climatológicas 1971-2000 (Figura 9), apresentando os valores mais elevados no mês de julho (25,6 ºC) e os menores no mês de janeiro (4,5 ºC).

É de notar que no ano em estudo, à exceção do mês de janeiro, todos os outros meses apresentaram valores acima da média. Assim, conclui-se que o ano de 2019 foi mais quente do que a média.

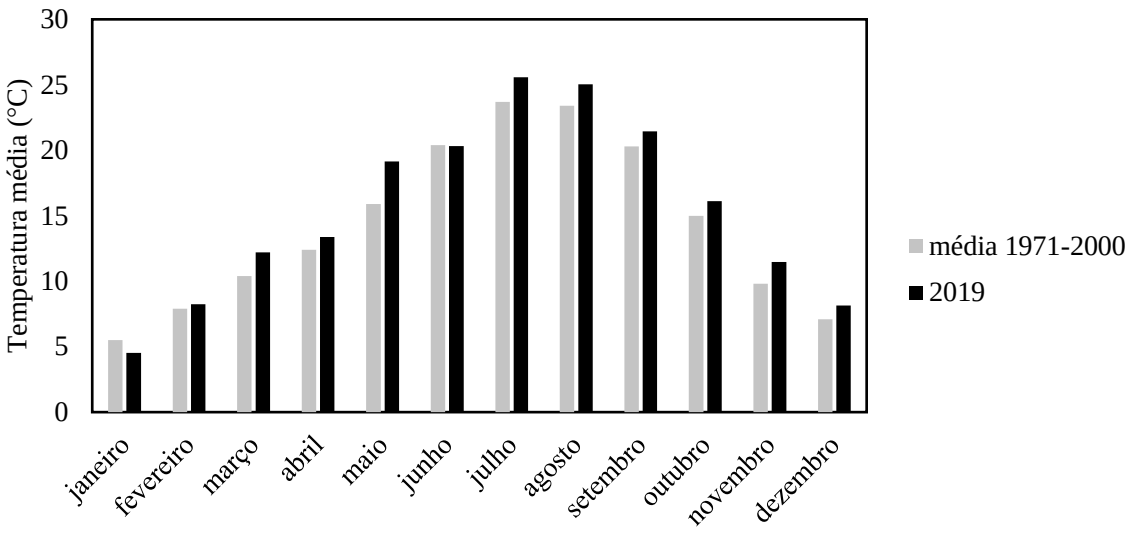


Figura 9. Temperatura média mensal (°C) do ano de 2019 em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela

Precipitação

Quanto à precipitação total, a média anual das normais climatológicas 1971-2000 é de 508,6 mm, sendo o mês de dezembro o que apresenta maiores valores médios (72 mm) e o de agosto o que apresenta os menores valores (13,4 mm), como mostra a Figura 10.

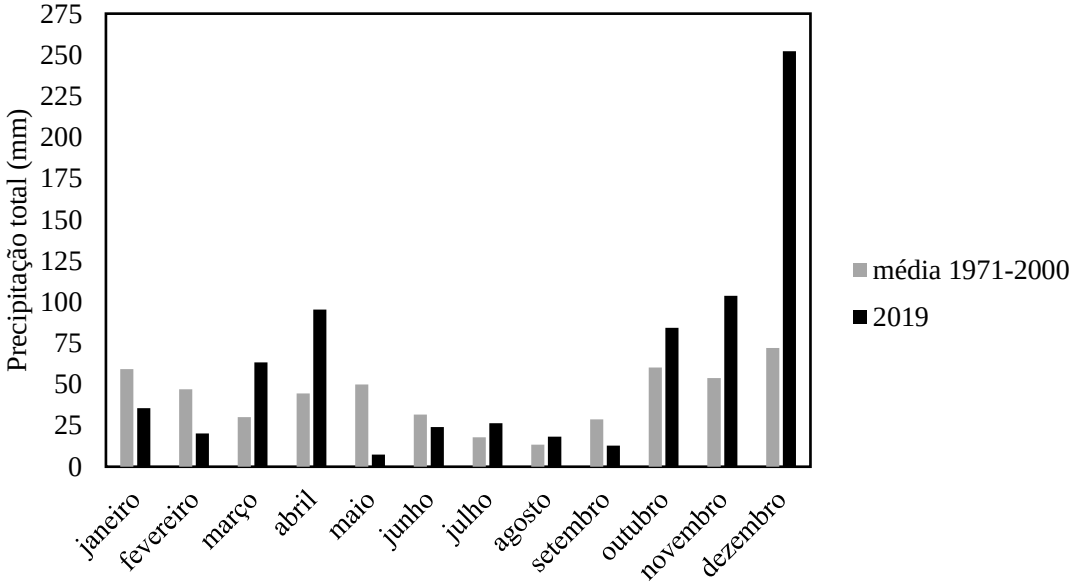


Figura 10. Precipitação total mensal (mm) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela

Ao contrário da temperatura média, os valores de precipitação total verificados em 2019, não seguem o padrão da variação da média das normais climatológicas 1971-2000 (Figura 9). No ano do estudo, à semelhança da média 1971-2000, o mês que apresentou maior valor de precipitação acumulada foi o mês de dezembro (252, 2 mm), porém, o que apresentou menor valor foi o mês de maio. O ano de 2019 apresentou um valor total de precipitação de 743,8 mm, encontrando-se os meses de janeiro, fevereiro, maio, junho e setembro abaixo da média de 1971-2000 e os restantes acima. Destaca-se o mês de dezembro, que apresentou uma diferença na precipitação total de 180,2 mm, o que corresponde a uma diferença de 71% superior à média.

Humidade relativa

Como verificado na Figura 11, todos os meses de 2019 apresentaram valores médios de humidade relativa inferiores aos valores médios descritos das normais climatológicas 1971-2000, sendo maio o mês que apresenta a maior diferença (cerca de 28%) e janeiro o que apresentou a menor (1,5%).

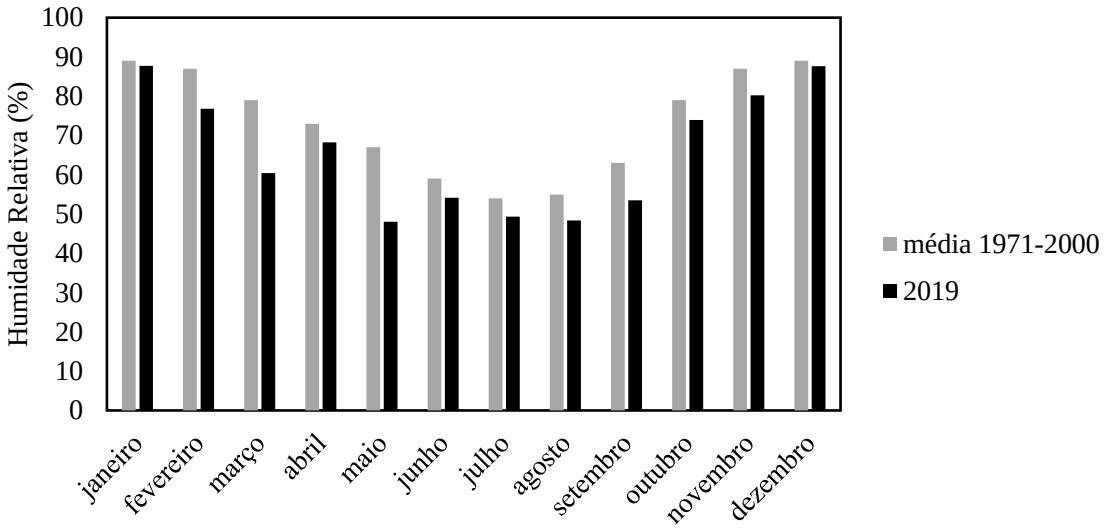


Figura 11. Valores médios mensais de humidade relativa média (%) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela

À semelhança da precipitação total, foi o mês de maio o que apresentou valores de humidade relativa mais baixos e os mês de dezembro o que apresentou os mais altos (48,1% e 87,6 %, respetivamente). À exceção dos meses de maio, julho e agosto, todos

os outros meses apresentaram valores de humidade relativa acima de 50%, mas nunca ultrapassando os 90%.

Radiação solar e défice de pressão de vapor

A radiação solar e o défice de pressão de vapor (VPD) seguem um padrão de variação semelhante (Figura 12), atingindo os valores mais altos no mês de julho e os mais baixos no mês de dezembro. Estes valores estão diretamente relacionados com os máximos e mínimos de temperatura média e precipitação total.

Note-se que os valores mais elevados foram atingidos durante a estação de crescimento das culturas.

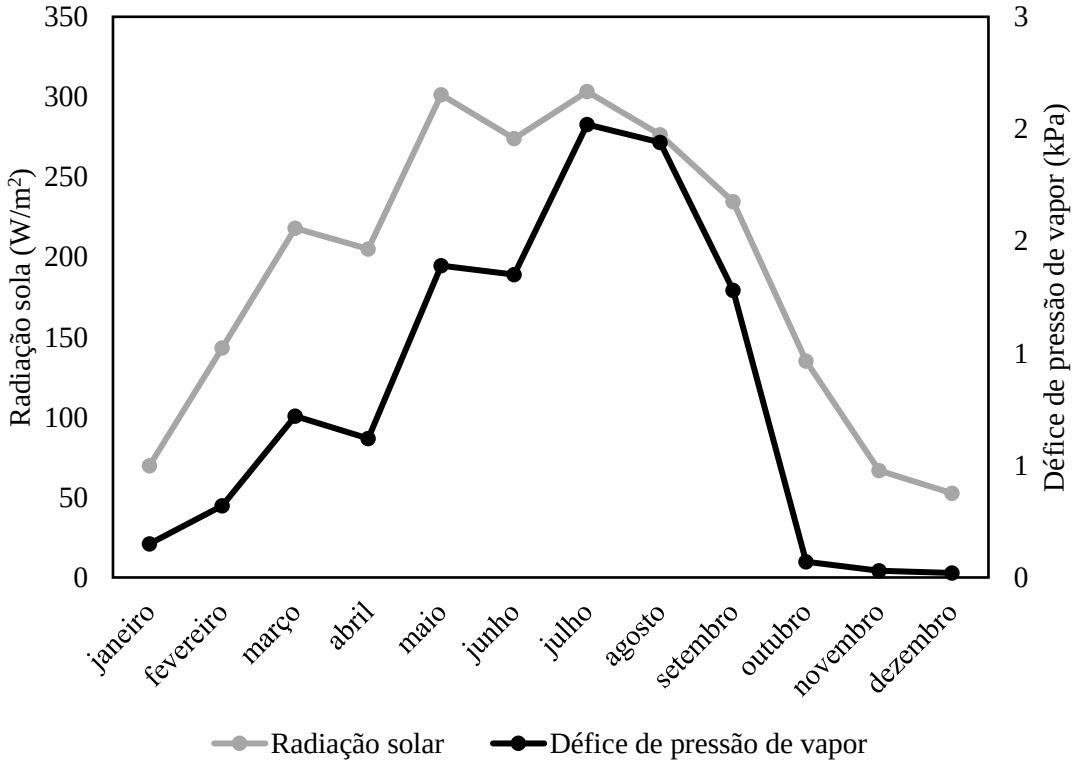


Figura 12. Valores médios mensais no ano de 2019 de radiação solar (W/m^2) e défice de pressão de vapor (kPa) em Santa Comba da Vilariça e das normais climatológicas 1971-2000 para a localidade de Mirandela

3.4. Teor de humidade volumétrica

Para conhecer as relações hídricas no continuum solo-planta-atmosfera, não só é importante conhecer o estado hídrico da planta, como também o teor de água do solo. Para isso utilizou-se uma sonda (Figura 13) de humidade de solo Time-Domain Reflectometry (TDR, modelo "TRIME-FM, IMKO)". Para avaliar a humidade do solo, previamente introduziram-se tubos de acesso em cinco árvores de cada tratamento, escolhidas aleatoriamente (Figura 13). Foram colocados dois tubos por árvores junto ao bolbo húmido, dispostos na linha, ficando a árvore entre os dois. Note-se que, devido à textura e estrutura do solo, não foi possível que os tubos ficassem todos à mesma profundidade, variando entre 0,60 a 1 metro.

Figura 13. Equipamento utilizado para a avaliação da humidade do solo (imagens a/c) e respetivo tubo de acesso (imagem b)

3.5. Indicadores do estado hídrico

3.5.1. Potencial hídrico

As medições do potencial hídrico (Ψ) foram realizadas segundo o método de Scholander *et al.* (1965). Das diferentes árvores em estudo recolheu-se um raminho do ano, uma vez que as folhas de oliveira são de pequenas dimensões, de uma zona exposta ao sol. Imediatamente após o ramo ser destacado da planta era colocado na Câmara de Scholander de forma a que o ramo ficasse de fora (Figura 14). Após devidamente fechada a câmara, era fornecida lentamente pressão, sob a forma de azoto. Assim que se verificava, com a ajuda de uma lupa, a saída de seiva do raminho, a injeção do gás era logo interrompida e registada a leitura no manómetro.

Figura 14. Medição o do potencial hídrico com câmara de pressão de Scholander (a/b – colocação do raminho na camara de Scholander; c – com a ajuda de uma lupa, verificação de saída de seiva).

Note-se que todas as leituras foram realizadas ao meio dia solar e foram feitas à sombra e que desde o momento do corte do raminho até à medição do potencial hídrico nunca passaram mais do que 1-5 minutos. Aos resultados obtidos pelas leituras associa-se um erro visual de ± 0,5 MPa, uma vez que é o valor mínimo da divisão da escala de leitura.

3.5.2. Condutância estomática

Os valores de condutância estomática foram obtidos com um porómetro foliar do fabricado por "Decagon"(Figura 15). Foram escolhidas, de forma aleatória, 5 árvores em cada tratamento em estudo. Em cada uma dessas árvores escolheram-se 2 folhas completamente expandidas do ano, de uma zona iluminada da árvore (Figura 15).

Figura 15. Determinação da condutância estomática

Note-se que, à semelhança da determinação do potencial hídrico, todas as leituras foram realizadas ao meio dia solar.

3.5.3. Teor relativo de água nas folhas

Para determinar o teor relativo de água nas folhas (RWC) recolheram-se, em cada árvore em estudo, três folhas de ramos do ano que estivessem bem iluminadas. Deve ter-se o cuidado de deixar os pecíolos intactos. Após a extração das folhas colocam-se imediatamente as mesmas, com os pecíolos virados para baixo, em frascos de plástico, previamente pesados e identificados. Seguidamente, fecham-se os frascos e colocam-se numa mala térmica, por forma a permitir o seu transporte até ao laboratório. Já em laboratório pesam-se os frascos numa balança de precisão, obtendo-se assim o peso fresco (Figura 16). Posteriormente, cobriu-se completamente os pecíolos das folhas com água destilada fria (Figura 16). As folhas devem ficar assim armazenadas durante 48 horas, num local escuro e fresco (4 ºC). Após os dois dias devem ser pesadas novamente as folhas, obtendo assim o peso túrgido. Depois da pesagem retirou-se a água e as folhas foram colocadas numa estufa ventilada, a 70 ºC durante 48 horas, permitindo assim obter o peso seco (Figura 16).

Por fim, calcula-se o RWC através da equação:

$$RWC\ (\%) = \frac{(PF-PS)}{(PT-PS)} \times 100 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

Onde PF corresponde ao peso fresco, PS ao peso seco e PT ao peso túrgido.

Figura 16. Determinação do teor relativo de água (RWC) (a - obtenção do peso fresco; b/c - adição de água destilada fria, para obtenção do peso túrgido; d - distribuição das folhas para seguirem posteriormente para a estufa, a fim de obter o peso seco)

Aos resultados obtidos pelas pesagens associa-se um erro visual de ± 1 mg, uma vez que é o valor mínimo da divisão da escala de leitura.

3.6. Medição do fluxo de seiva e determinação da transpiração

3.6.1. Princípio do método

Como referido anteriormente, no capítulo 2.4. (indicadores do estado hídrico), existem diferentes métodos para determinar a transpiração através da medição do fluxo de seiva no tronco da oliveira. Neste trabalho utilizou-se o método velocidade do impulso do calor (*Heat Pulse Velocity*, HPV) e a técnica da compensação do impulso de calor (*Compensation Heat Pulse*, CPH). As sondas de fluxo de seiva utilizadas foram fornecidas pela empresa Tranzflo NZ Ltd., Palmerston North, New Zealand. O funcionamento do sistema completo e o registo contínuo dos dados foi controlado por um *datalogger da Campbell* (Campbell Scientific Inc., Logan UT) modelo CR 1000. Escolheram-se 2 oliveiras em cada tratamento em estudo (100% ET, SDI 30% e RDI 100%), e em cada uma das plantas, instalaram-se radialmente, 2 sondas, para que estivessem em contacto com o xilema. Cada sonda era constituída por dois sensores termoelétricos e um emissor de calor (figura 6, presente no capítulo 2). Cada sensor possuía quatro termopares, colocados às profundidades (distâncias) de 5, 15, 25 e 40 mm.

3.6.2. Aspectos de instalação das sondas

Na Tabela 2 encontramos alguns detalhes importantes da instalação de cada uma das sondas, tais como a altura (cm), da sonda ao solo, o diâmetro do tronco da oliveira no local onde foram inseridas as sondas e a orientação cardeal destas.

Tabela 2. Dados de instalação das sondas (altura das sondas ao solo, diâmetro do tronco e orientação)

	T2 (100% ET)				**T5 (SDI 30%)**				**T5 (RDI 100%)**			
	Oliv. 1		**Oliv. 2**		**Oliv. 1**		**Oliv. 2**		**Oliv. 1**		**Oliv. 2**	
	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 1	Sonda 2	Sonda 1	Sonda 2
Altura ao solo (cm)	40	50	56	37	90	76	69	65	45	65	67	87
Diâmetro do tronco (cm)	62	62	58	60	55	57	60,5	59	74	53	58	71,5
Orientação	N	E	N	SW	N	SE	N	SW	N	SE	N	SW

Coloca-se o emissor de calor, que irá emitir pulsos de calor não contínuos a cada 30 minutos, entre os dois sensores termoelétricos, que se encontram a diferentes distâncias. O sensor termoelétrico que está acima do emissor de calor, normalmente está a uma distância maior (1 cm) do que o sensor que está a montante (0,5 cm). Assim, a temperatura no sensor que está a montante será mais elevada, dada a maior proximidade ao emissor de calor. Após determinado período a temperatura nos dois sensores será semelhante, devido à circulação de seiva (Edwards & Warwick, 1984; Smith & Allen, 1996; Fernandes Silva, 2008). Após a escolha do local, deve limpar-se cuidadosamente o tronco, isto é, deve remover-se as irregularidades da casca do tronco. Seguidamente, com o apoio de uma broca perfura-se o tronco, com pequenos movimentos. Para que os furos ficassem todos paralelos e perfeitamente alinhados com os vasos xilémicos (como necessário), utilizou-se um molde (Figura 17). Feitos os furos, devem inserir-se as agulhas das sondas com muito cuidado (Figura 17), por forma a evitar dobrá-las. Após a inserção das agulhas, deve conectar-se ao cabo de dados e deve colocar-se a bateria do datalogger. Por último, por uma questão de segurança deve enrolar-se o cabo em torno do ramo (Figura 17).

Figura 17. Pormenores da instalação das sondas de fluxo de seiva (a – molde utilizado para perfuração do tronco; b -perfuração do tronco; c - orifícios para colocação das sondas; d – colocação das sondas; e – aspeto final da instalação das sondas)

Após a instalação das sondas, foi colocado um refletor solar a envolver todo o tronco para refletir a radiação solar.

3.6.3. Metodologia do cálculo de fluxo de seiva

Como referido anteriormente, estas sondas fornecem informação da velocidade do pulso de calor, isto é , as sondas medem o tempo decorido desde a emissão do pulso de calor até que a temperatura entre os dois sensores termoeletricos seja semelhante (Green *et al*., 2003). Após a leitura deste tempo de atraso (t_z), isto é até que a temperatura às distâncias X_d (distância a jusante ao emissor de calor em mm, 10 mm) e X_u (distância a montante ao emissor de calor em mm, 5mm) sejam semelhantes, calcula-se a velocidade (Vz) do pulso de calor (m/s), que corresconde à média ponderada da velocidade de seiva e da matriz estacionária, através da fórmula:

$$Vz = \frac{X_d + X_u}{2t_Z} \qquad \text{(Eq. 2)}$$

Posteriormente, esta velocidade deve sofrer uma correção , de forma a "compensar a perturbação criada na seiva pela introdução de sondas no xilema" (Valverde, 2013). Para o cálculo da $V_{corrigida}$ (m/s) multiplicam-se 3 constantes tabeladas (a, b e c) que dependem do tamanho da ferida, pela velocidade Vz:

$$V_{corrigida} = a + bV_z + cV_z{}^2 \qquad \text{(Eq. 3)}$$

Como o o diâmetro das sondas utilizadas era 1,82 mm, as constantes a, b e c usadas são –0,0963, 1,24 e 0,0634, respetivamente (Green *et al.*, 2003). Posto isto, pode finalmente converter-se a velocidade de impulso de calor em fluxo de seiva (J, m/s), através da equação:

$$J = (0{,}441\ F_M +\ F_L)\ V_c \qquad \text{(Eq. 4)}$$

O fator 0,441 está relacionado com as propriedades térmicas da matriz lenhosa (Green *et al.*, 2003). Para o cálculo da fração volumétrica de água (F_L) e da fração volumétrica de madeira (F_M) é necessário recolher-se, com o auxílio de uma verruma, uma amostra radial de madeira das árvores (Figura 18). Essa amostra é colocada num frasco, que por sua vez é colocada num saco térmico, de forma a manter o seu teor de humidade durante o transporte do campo de ensaio até ao laboratório. Aí determina-se o seu peso fresco (M_F, em kg) numa balança de precisão (0,001 g) e o volume total da amostra (V_T em m^3).

Para obtenção do V_T, determina-se o peso de uma taça com água destilada. Posteriormente, submerge-se a amostra radial de madeira nessa taça. Através do aumento da massa após a submersão da amostra no frasco, obtém-se a massa de água deslocada (D_T, em kg). À D_T divide-se o valor da densidade da água (1000 kg m^{-3}), obtendo-se assim o V_T.

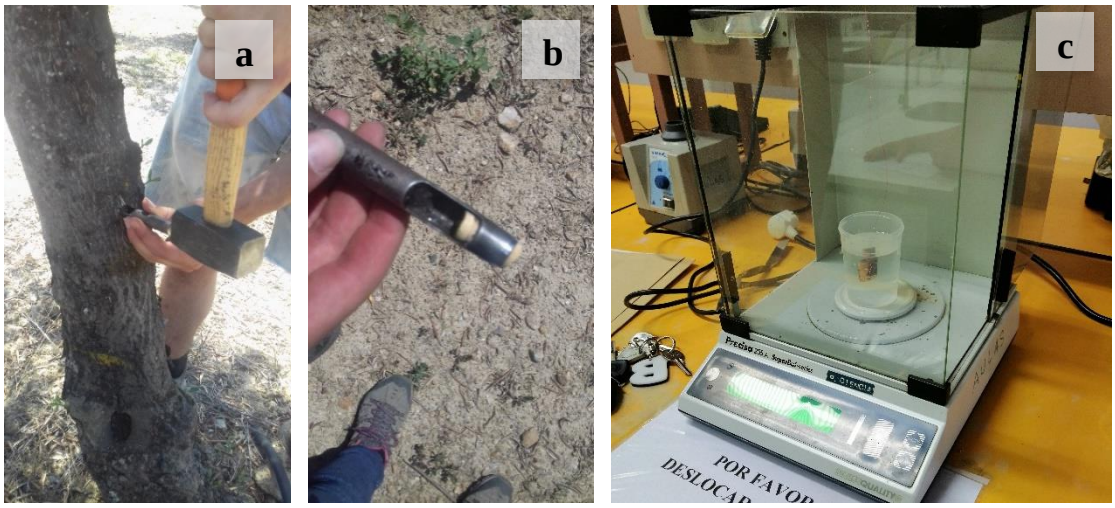


Figura 18. Obtenção da amostra radial de madeira (a - recolha da amostra radial de madeira; b – pormenor da verruma com a amostra radial de madeira; c – obtenção de massa de água deslocada, DT)

De seguida coloca-se a amostra de madeira numa estufa, a 70 ºC, até o peso se manter constante, para que se possa determinar a massa de madeira seca (M_D, em kg). Após a obtenção da massa de madeira seca, subtrai-se este valor ao seu peso fresco, obtendo-se a massa de água (M_L, em kg). Após estes procedimentos, reúnem-se as condições necessárias á obtenção da fração volumétrica de água (F_L) e da fração volumétrica da madeira (F_M), através das equações:

$$F_L = \frac{M_L}{\rho_L . V_T} \quad \text{(Eq. 5)} \qquad\qquad F_M = \frac{M_D}{\rho_M . V_T} \quad \text{(Eq. 6)}$$

Note-se que ρ_L (densidade da água) é 1000 kg/m^3 e ρ_M (densidade da madeira) é 1530 kg/m^3.

3.7. Análise estatística

A parte final deste trabalho foi a análise estatística de todos os resultados. Para isso utilizou-se o software SPSS. Aí realizou-se o Teste de Tukey HSD.

4. Resultados e Discussão

4.1. Teor de humidade volumétrica do solo

Ao longo do tempo de estudo, o tratamento de rega plena (T2) foi o que apresentou maior teor de humidade volumétrica e o tratamento de rega deficitária contínua (T4) foi aquele que apresentou maior défice de água (Figura 19). Estes resultados eram expectáveis, uma vez que no T4 só era fornecida uma quantidade de água equivalente a 30% da ET. Já no T2, como era fornecida a totalidade da ET, o teor de humidade volumétrica é maior.

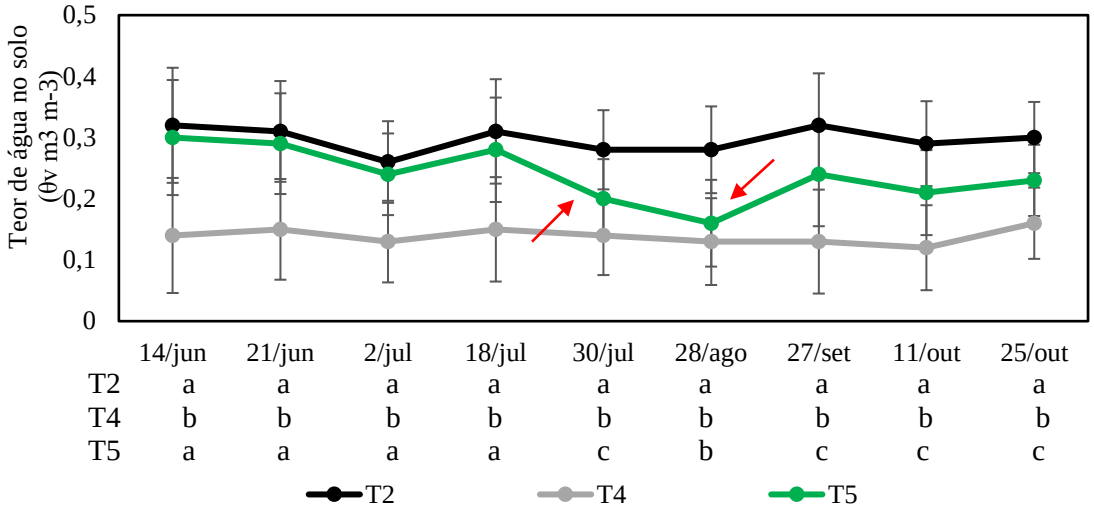


Figura 19. Evolução do teor de humidade volumétrica no solo (θv m^3 m^{-3}) no perfil do solo (0-60cm) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). As setas indicam o período de interrupção da rega em T5. Letras diferentes abaixo do gráfico indicam diferenças estatisticamente significativas ($P \leq 0,5$).

O teor de humidade volumétrica no solo (θ_v) no tratamento T5 é semelhante à do T2, até ao dia 18 de julho. A partir desse dia observam-se diferenças acentuadas entre estes dois tratamentos, pelo facto de que a partir dessa data, correspondente à fase do endurecimento do caroço, a rega ter sido reduzida para 10% em relação à rega plena (T2). Com o restabelecimento da rega a partir da 3ª semana de agosto, observa-se um aumento do teor de humidade volumétrica (θ_v) do solo para qual também contribui a precipitação no início de setembro (21 mm).

No tratamento T4 observou-se que os valores do θ_v mantiveram-se mais ou menos constante (0,12 a 0,16 cm^3 cm^{-3}) ao longo do período de rega. Já nos outros tratamentos,

os valores observados são superiores e encontram-se no intervalo 0,16 a 0,30 cm^3 cm^{-3} e no de 0,26 a 0,32 cm^3 cm^{-3} nos tratamentos T5 e T2, respetivamente.

Os valores de θ_v dos tratamentos T2 e T5 mostram diferenças estatisticamente significativas a partir do momento da redução de rega, final de julho, o que era expectável, uma vez que até essa altura, a dotação de rega desses tratamentos era semelhante (100% ET). Já no tratamento T4 os valores de θ_v, são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$) dos outros tratamentos de rega, uma vez que a quantidade de rega fornecida foi apenas 30% ET.

4.2. Indicadores do estado hídrico

4.2.1. Potencial hídrico

Os valores de potencial hídrico (Ψ) obtidos neste estudo (Figura 20) correspondem a leituras efetuadas ao meio dia solar (Ψ_{MD}). No início do período de rega não foram observadas diferenças estatisticamente significativas dos valores de Ψ_{MD} entre os três tratamentos de rega.

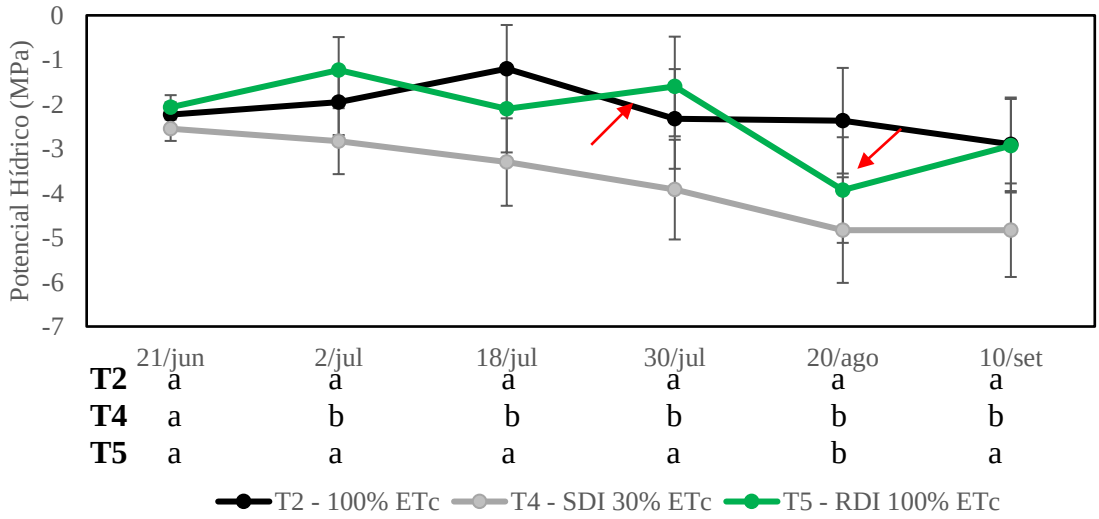


Figura 20. Evolução do teor médio de potencial hídrico ao meio dia solar (ΨMD MPa) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). As setas indicam o período de interrupção da rega em T5. Letras diferentes abaixo do gráfico indicam diferenças estatisticamente significativas ($P < 0,5$).

De um modo geral o tratamento de rega plena (T2), foi o que apresentou, ao longo de todo o estudo, os valores de potencial hídrico (Ψ_{MD}) mais semelhantes entre si. Este tratamento apresentou uma tendência de comportamento semelhante ao da humidade do solo. Isto é, apresentou o valor mais baixo no dia 18 de julho. Os valores de Ψ_{MD} observados em T2 encontram-se dentro do intervalo de -2,9 a -1,2 MPa e vão ao encontro

aos referidos noutros estudos, onde a maior parte dos valores de Ψ_{MD} em tratamentos de rega plena eram superiores a -2 MPa (Fernandes Silva & Lopez-Bernal., 2016), indicando que a planta está em conforto hídrico.

No tratamento T5, os valores do Ψ_{MD} são estatisticamente semelhantes aos observados nas plantas do T2, decrescendo para valores inferiores no período de endurecimento do caroço, onde se atingiu o valor mínimo de -3,9 MPa, em consequência da redução da rega, neste estado fenológico, para 10%ET. Neste período o valor mínimo observado indica que as plantas estão em défice hídrico moderado (Fernandes Silva, 2008). Com o restabelecimento da rega, o potencial hídrico subiu, ficando semelhante ao observado no T2, indicando um restabelecimento do estado hídrico das plantas.

No tratamento da rega deficitária contínua (T4), observou-se um decréscimo contínuo dos valores de Ψ_{MD} ao longo de toda a estação, apresentando sempre, os valores mais baixos, variando entre -4,8 a -2,6 MPa, evidenciando diferenças estatisticamente significativas entre os observados para os T2 e T5.

Este comportamento do T4 era esperado, uma vez que, desde o início da época de estudo, este tratamento foi aquele que sempre recebeu menor quantidade de água pela rega. O decréscimo dos valores, pode ser explicado pelo facto de a reserva de água no solo também ir decrescendo ao longo da estação.

Os valores conseguidos neste trabalho vão de encontro a valores obtidos em estudos realizados por outros autores, onde valores de potencial hídrico mais elevados (-1,5 a -2,7 MPa) são observados em tratamentos bem regados e valores mais negativos (-2,7 e -7 MPa) são encontrados em tratamentos de rega deficitária (Fernandes Silva & Lopez-Bernal., 2016).

4.2.2. Condutância estomática

Os valores medidos ao meio dia solar da condutância estomática nos três tratamentos de rega, seguem um comportamento semelhante ao da humidade do solo (Figura 21), no que se refere aos valores máximos.

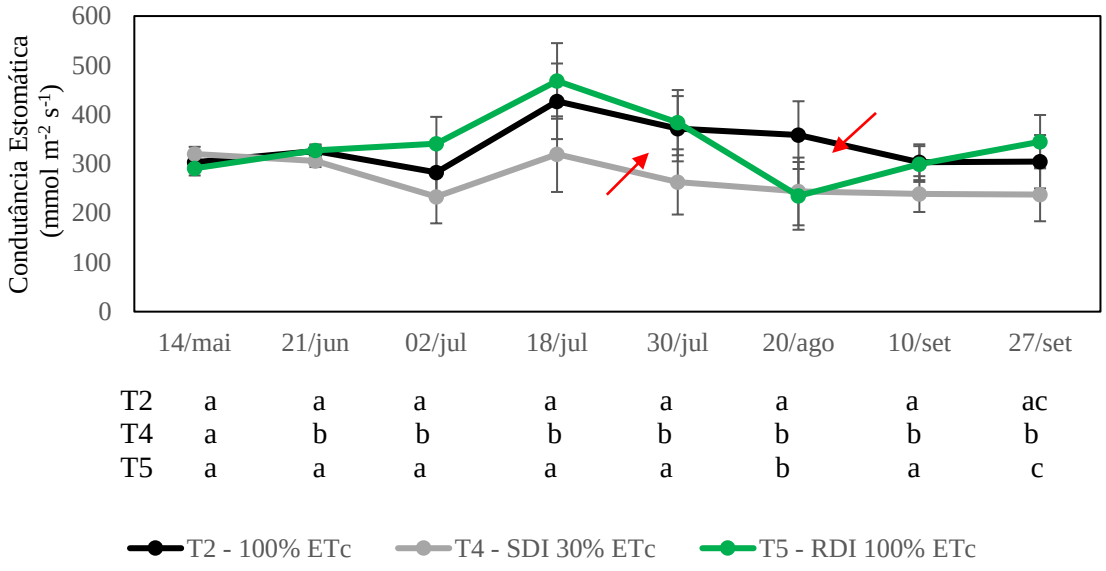


Figura 21. Evolução da condutância estomática (mmol m^{-2} s^{-1}) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). As setas indicam o período de interrupção da rega em T5. Letras diferentes abaixo do gráfico indicam diferenças estatisticamente significativas (P < 0,5).

No dia 18 de julho, todos os tratamentos apresentaram o valor mais alto (427 mmol m^{-2} s^{-1}, 319,67 mmol m^{-2} s^{-1} e 468,33 mmol m^{-2} s^{-1} nos tratamentos 2, 4 e 5, respetivamente).

Por outro lado, no dia 2 de julho foi quando se observaram os valores de g_s mais baixos nos tratamentos 2 e 4 (282,67 mmol m^{-2} s^{-1}, 233,33 mmol m^{-2} s^{-1}). O T5, atingiu o valor de condutância estomática mais baixo a 20 de agosto, altura em que a rega foi desligada neste tratamento (235 mmol m^{-2} s^{-1}).

O comportamento dos tratamentos 2 e 5 foram semelhantes até ao momento em que houve a interrupção da rega no tratamento 5 (entre 30 de julho e 20 de agosto). Neste momento, o valor de g_s do tratamento 5 aproximou-se do valor observado no tratamento 4, uma vez que ambos estavam em défice hídrico. Já os valores observados no tratamento de rega deficitária contínua (T4), são constantemente inferiores aos valores dos restantes tratamentos, uma vez que ao regar menos do que a evapotranspiração, as plantas ficam em défice hídrico, o que se vai traduzir no fecho dos estomas, para não perder água.

Após o restabelecimento da rega, os valores de g_s do tratamento de rega deficitária controlada (T5) aproximaram-se, novamente, dos valores da rega plena (T2). Este

comportamento era esperado, uma vez que nos dois tratamentos, as plantas estavam em conforto hídrico.

Os valores obtidos no tratamento 2 (100% ET) encontram-se entre 282,67 e 427 mmol m^{-2} s^{-1}, os obtidos no tratamento 4 (SDI 30% ET) entre 233,3 e 320 mmol m^{-2} s^{-1} e os do tratamento 5 (RDI 100% ET) encontram-se no intervalo de 235 a 468,33 mmol m^{-2} s^{-1}.

Note-se que o tipo de equipamento utilizado (IRGA ou porómetro) pode ter influência nos resultados obtidos.

Mais uma vez, as diferenças entre o tratamento bem regado (T2) e o tratamento em que houve interrupção da rega na fase do endurecimento do caroço (T5) não foram estatisticamente significativas (P>0,05).

4.2.3. Teor relativo de água nas folhas (RWC)

Os resultados do teor relativo em água (RWC) são apresentados na Figura 22. Observa-se que nenhum tratamento apresentou valores de RWC abaixo de 60%.

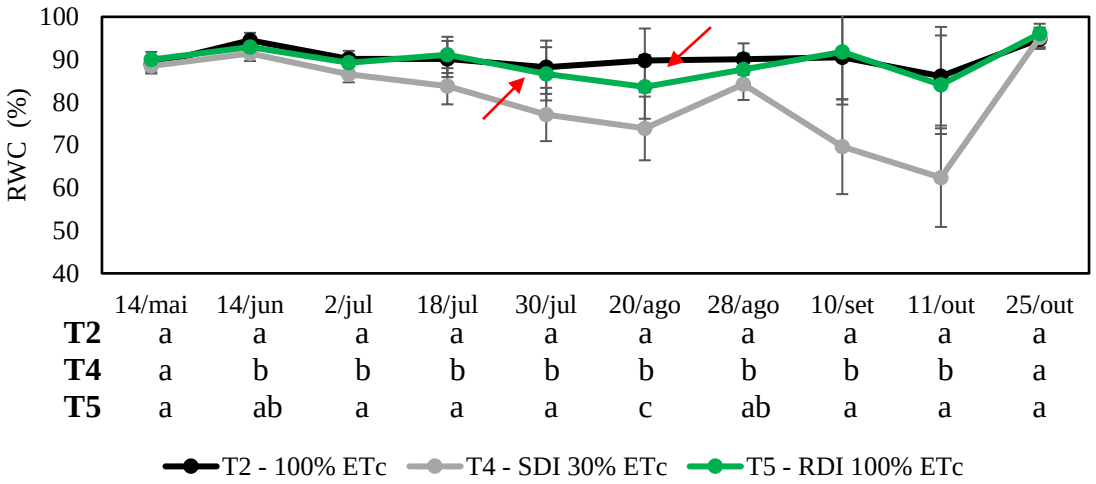


Figura 22. Teor relativo de água nas folhas (%) durante o período de rega nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). As setas indicam o período de interrupção da rega em T5. Letras diferentes abaixo do gráfico indicam diferenças estatisticamente significativas (P < 0,5).

No tratamento T2, onde a rega é plena, o teor relativo de água nas folhas segue um comportamento semelhante ao longo do estudo, estando os valores compreendidos entre 86,11 % (11 de outubro) e 94,79% (25 de outubro).

O tratamento T5 apresenta valores estatisticamente semelhantes aos do T2, à exceção do dia 20 de agosto, uma vez que houve redução da rega. Foi neste dia que se observou o valor mais baixo (83,61 %). Em setembro, graças ao restabelecimento da rega, os valores voltaram a aproximar-se dos verificado no tratamento T2, atingindo o valor mais alto a 25 de outubro (95,2 %), à semelhança de T2.

No dia 28 de agosto, os três tratamentos apresentam valores semelhantes, uma vez que nos dias 25 e 26 choveram cerca de 14 mm.

No final de setembro e outubro houve um agravamento dos valores de RWC no tratamento de rega deficitária contínua (T4), uma vez que com a constante rega deficitária e com a falta de precipitação, houve o aumento do défice hídrico das plantas.

Ao relacionar os valores do teor relativo de água nas folhas com os da humidade volumétrica do solo, dos diferentes tratamentos de rega (Figura 23), observa-se uma relação linear positiva destas variáveis no tratamento de rega deficitária contínua (T4-30%ET). Nos restantes tratamentos, tratamento de rega plena (T2-100%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET), como os valores da humidade volumétrica são mais elevados, as oliveiras estão em conforto hídrico, levando a teores relativos de água nas folhas superiores a 80%.

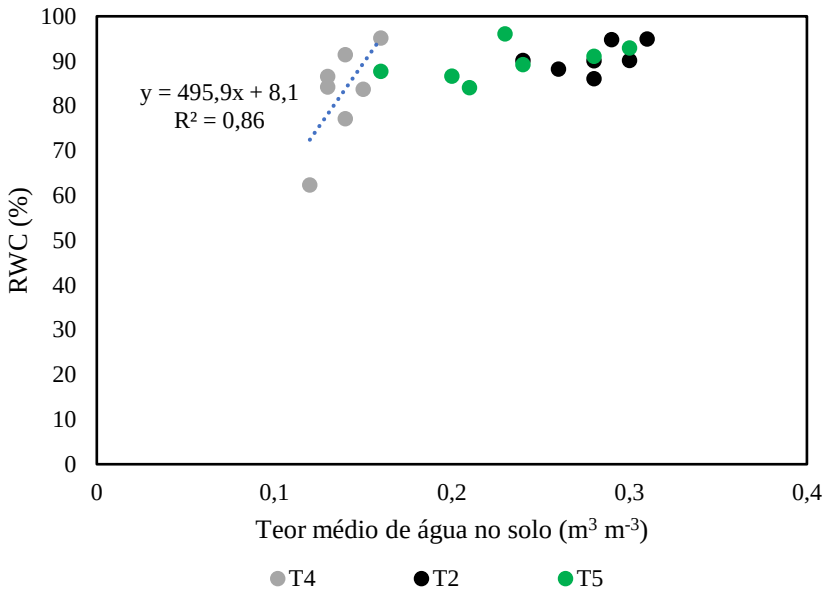


Figura 23. Relação entre teor médio de água do solo (m^3 m^{-3}) e Teor relativo de água nas folhas (%) nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). A equação da regressão linear é y= 495,9x + 8,1; R^2=0,86 ($p<0.01$)

No tratamento da rega deficitária (T4), uma vez que a rega era reduzida, os valores de RWC são constantemente inferiores, apresentando assim diferenças estatisticamente significativas entre eles. Estes valores estão compreendidos entre 62,4 e 95,2 %. Este tratamento, de rega deficitária, apresentou um comportamento decrescente ao longo de todo o estudo. Isto é, de um modo geral, os valores foram diminuindo com maior ou menor intensidade ao longo da estação. Esta tendência era esperada, uma vez que com o decorrer da estação, há um agravamento da falta de água.

Na Figura 24, relacionaram-se os valores do teor relativo de água nas folhas (%), com os valores do potencial hídrico dos três tratamentos em estudo (MPa).

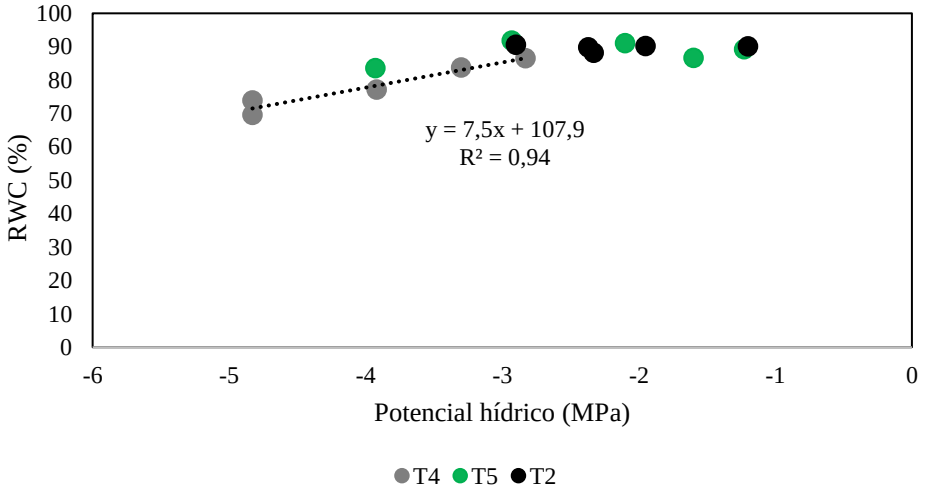


Figura 24. Relação entre potencial hídrico (MPa) medido ao meio dia solar e teor relativo de água nas folhas (RWC, %) nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET). A equação da regressão linear é y= 7,5x + 107,9; R^2=0,94 ($P<0.01$)

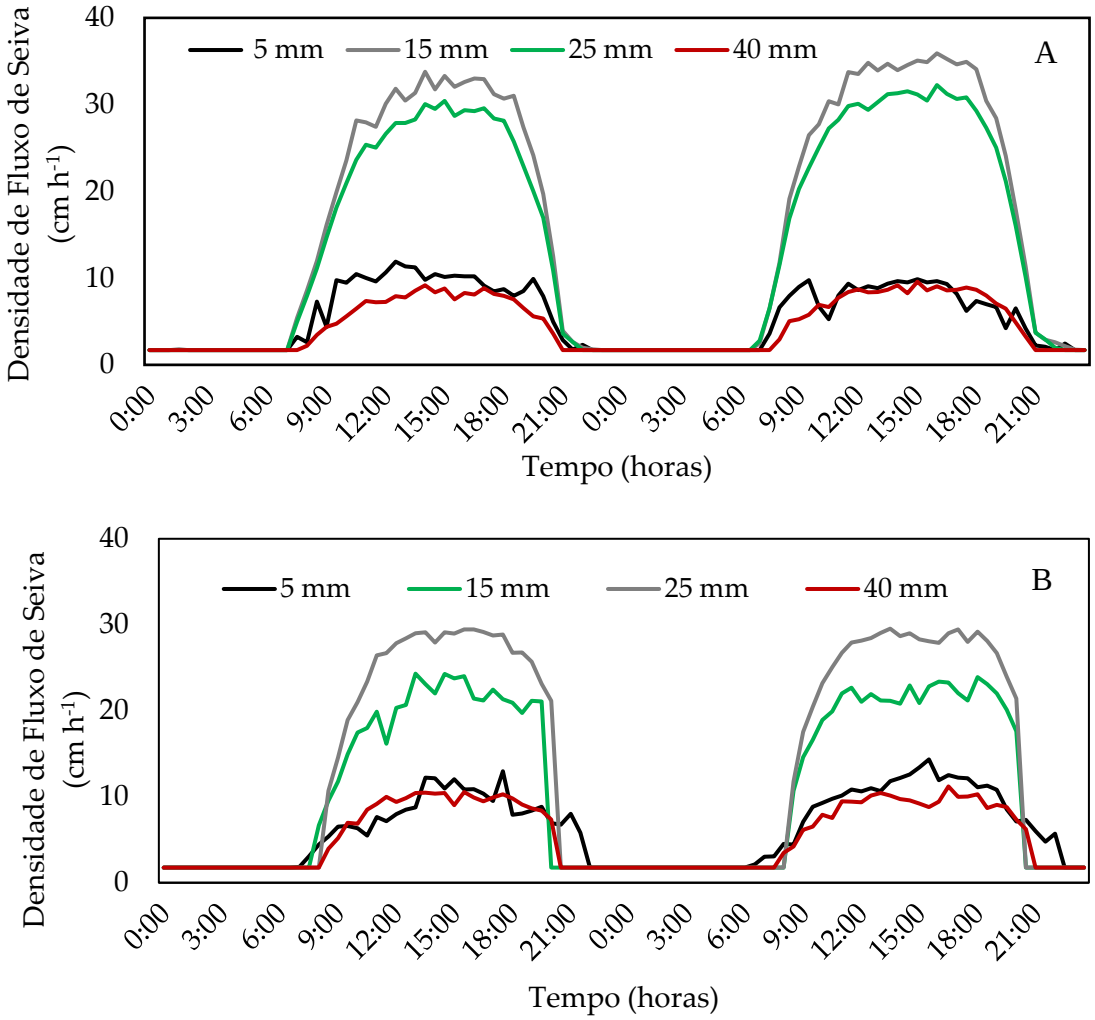
Como esperado, verificou-se uma relação linear positiva entre as duas variáveis, uma vez que valores de potencial hídrico inferiores são encontrados em plantas em maior défice hídrico, ou seja, com menor teor relativo de água nas folhas.

Os valores do tratamento de rega plena (T2 – 100%ET) apresentam constantemente valores de RWC próximos dos 90%, como era referido na revisão bibliográfica. Este comportamento era esperado, uma vez que, ao disponibilizar a totalidade da necessidade hídrica de evapotranspiração, as plantas se encontravam em elevado conforto hídrico.

4.3. Transpiração

Os resultados da densidade de fluxo de seiva horária (J_s, cm h^{-1}) em plantas de oliveira do tratamento de rega plena (T2) (Figura 25), nos dias 18 e 19 de julho, cujo potencial hídrico ao meio-dia solar foi de -1,9 MPa, mostra que a velocidade da seiva aumentou nas primeiras horas da manhã até o meio-dia e permaneceu quase constante até às 18 h, depois disso, diminuiu acentuadamente até perto de zero às 21 h. Embora a velocidade do fluxo de seiva seja diferente ao longo da profundidade do câmbio, esse padrão de comportamento diário foi observado em todas as profundidades. Para a oliveira

em condições de défice hídrico T4 e T5, com potencial hídrico ao meio-dia de -3,3 e -2,1 MPa, respetivamente, o padrão diário de J_s (Figura 25) foi semelhante ao observado no tratamento T2. Este tipo de comportamento é responsivo à radiação solar diária e défice de pressão de vapor como mostra a Figura 26.



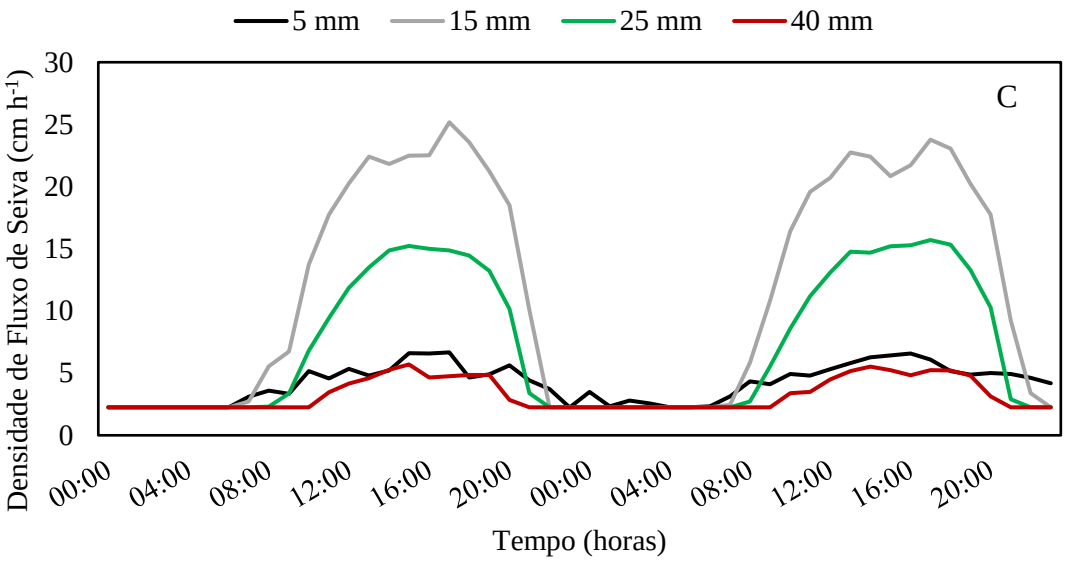


Figura 25. Densidade de Fluxo de Seiva (cm h^{-1}) em plantas de oliveira nos tratamentos de rega plena, T2, (A), rega deficitária continua, T4, (B) e rega deficitária controlada, T5, (C)

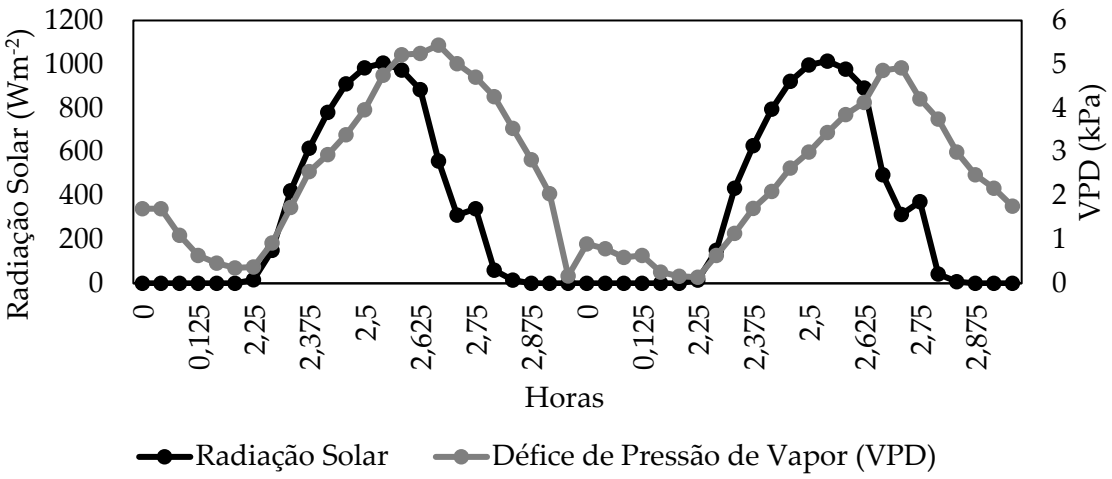


Figura 26.Radiação solar diária e défice de pressão de vapor nos dias 18 e 19 de julho

A magnitude da densidade do fluxo de seiva radial apresentou diferenças com a profundidade da área seccional do tronco nas oliveiras submetidas aos três tratamentos de rega (T2, T4 e T5). Os maiores valores foram observados na profundidade dos vasos do xilema a 15 e 25 mm e os menores nos vasos externos (5 mm) e nos mais internos (40 mm) do xilema. Nestes, os valores têm magnitude semelhante quer no tratamento bem regado (T2) como no T4 e T5, enquanto nas profundidades intermédias (15 e 25 mm) os valores nos períodos de maior velocidade de seiva, são cerca de e 2,5 vezes superiores no T4, cerca de 3,5 no T2 e cerca de 2,6 no T5, em relação aos vasos localizados a 5 e 40

mm de profundidade no tronco da oliveira. Em relação aos valores de J_s nos vasos do xilema nas profundidades 15 e 25 mm, observou-se que nas oliveiras do T2 os valores são ligeiramente superiores a 15 mm de profundidade, enquanto nas oliveiras do T4 e do T5, as diferenças entre estas duas profundidades são mais marcantes e são superiores a 25 mm de profundidade.

O curso diário do fluxo de seiva na planta (SF, L h^{-1}) em condições de alta e baixa capacidade evaporativa da atmosfera, céu claro e nublado, respetivamente, é apresentado na Figura 27. Para todos os tratamentos de rega (T2, T4 e T5), em ambos os dias, o padrão diurno de fluxo de seiva mostra um aumento acentuado durante o período da manhã, atingindo os valores máximos por volta do meio-dia, quando a radiação solar se apresenta no seu máximo, seguido por uma diminuição gradual até o final da tarde. Em ambos os dias com diferentes condições de cobertura do céu (limpo e nublado), observou-se que o padrão diurno do SF acompanhou o comportamento diurno da radiação solar. Conforme era esperado, os maiores valores foram observados em condições de alta capacidade evaporativa da atmosfera (ETo = 6 mm d^{-1}), em que o fluxo de seiva atingiu um valor máximo de 2,7 L h^{-1} ao meio-dia no tratamento T2, enquanto no T4 foi cerca de metade (1,3 L h^{-1}) e no T5 cerca de 1,3 vezes inferior (2,09 L h^{-1}). Em condições de céu nublado também foi observado que os valores máximos de fluxo de seiva diminuíram para 50% devido ao défice hídrico de água no solo imposto no T4 que recebeu apenas 30% da água aplicada no T2. A integração dos valores de fluxo e seiva ao nível do dia, do amanhecer ao pôr do sol, observou-se que a transpiração estimada, quando a ETc foi de 6 mm dia^{-1}, atingiu um valor de 61,7 L d^{-1} no T2, 33,5 L d^{-1} no T4 e 44,4 L d^{-1}, que caiu para 33,8 L d^{-1}, 24,7 L d^{-1} e 30,16 L d^{-1} respetivamente, quando a ETc diminuiu aproximadamente para metade.

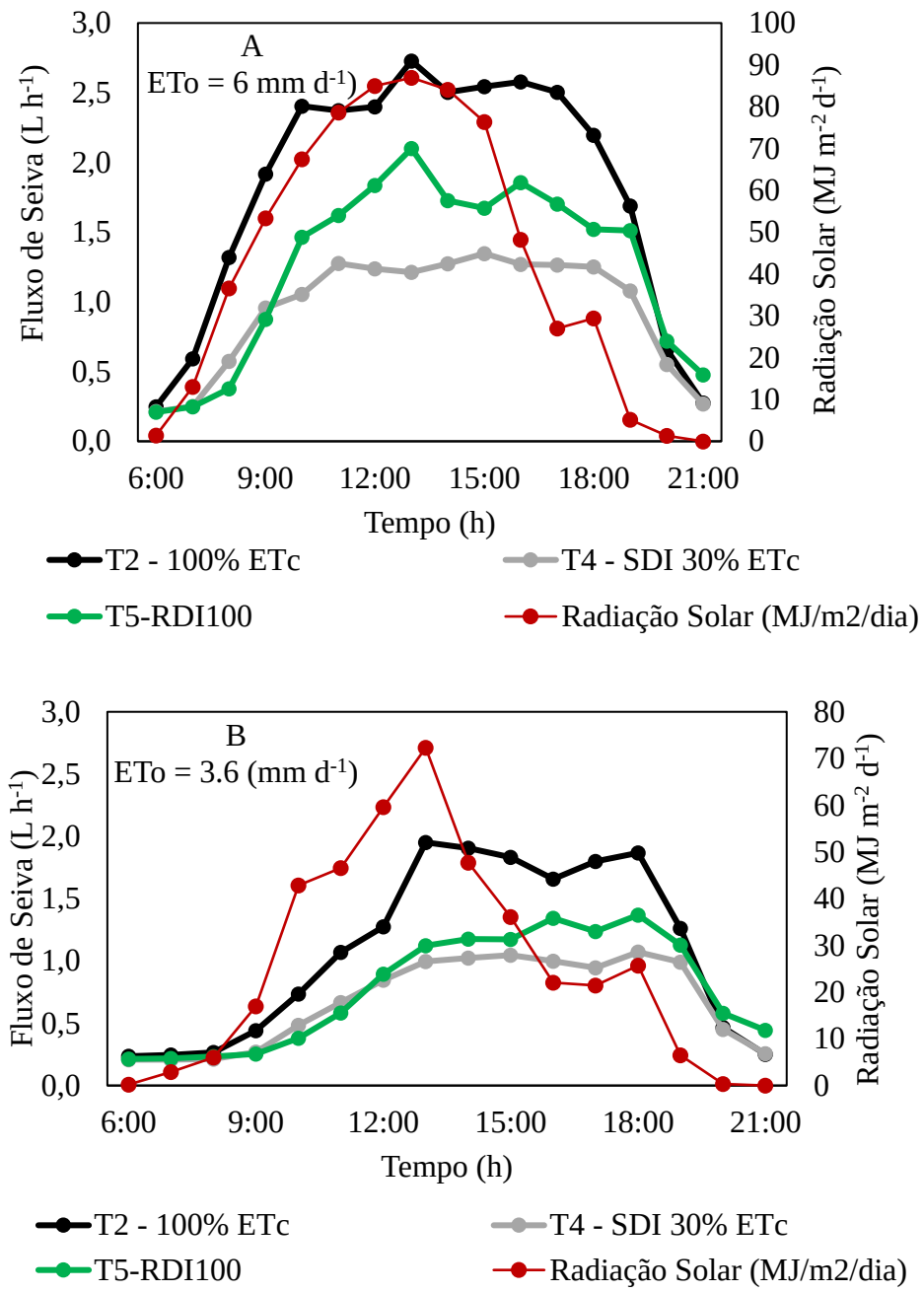


Figura 27. Valores diurnos do fluxo de seiva (L h^{-1}) das oliveiras nos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET) num dia de sol, 18 de julho (A) e num dia nublado, 27 de julho (B). Também são apresentados os valores evapotranspiração potencial (ETc) e da radiação solar.

A Figura 28 mostra os valores de transpiração diária (T) de plantas dos tratamentos de rega plena (T2), rega deficitária contínua (T4) e rega deficitária controlada (T5), e a evapotranspiração potencial (ETc), calculada usando a equação FAO-Penman, com os dados meteorológicos registados pela estação meteorológica situada perto do olival. Como era esperado, os valores menores de T foram registados no tratamento T4 e os

maiores no T2, para o mesmo valor de ETc. De facto, o valor máximo de T registado no tratamento de rega deficitária (T4) foi de 32,0 L d^{-1}, enquanto no T2 foi de 61,6 L d^{-1}. Já no T5 foi de 40,6 L d^{-1}. Verificou-se uma boa concordância entre a transpiração diária e evapotranspiração de referência diária para todos os tratamentos ($p < 0,01$) com um coeficiente de determinação (r^2) de 0,80 para T2, 0,69 para T4 e 0,76 para o T5, embora a inclinação da regressão tenha sido significativamente maior no T2 em comparação com ambos os tratamentos de rega deficitária (Figura 29).

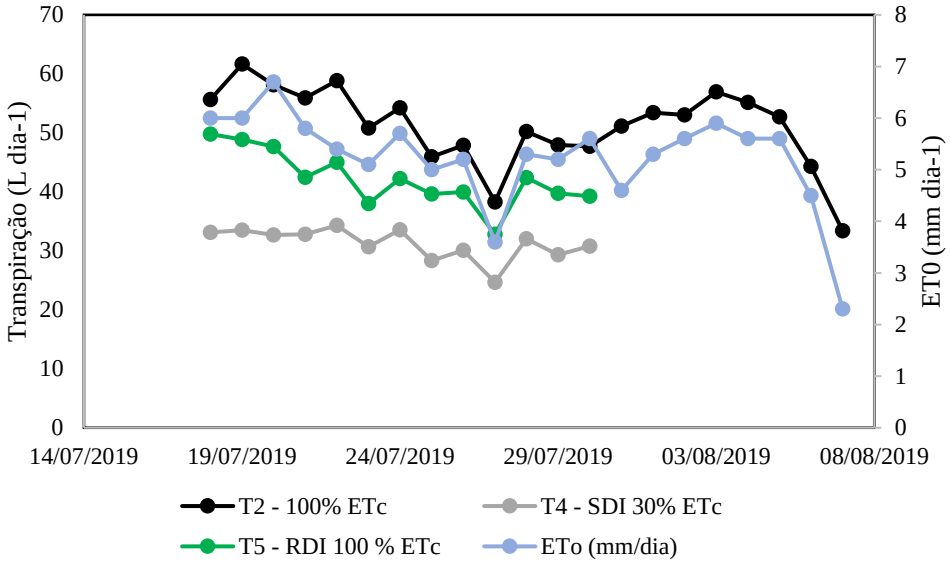


Figura 28. Evolução da transpiração diária (T) das plantas dos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET) e a evapotranspiração potencial (ETc)

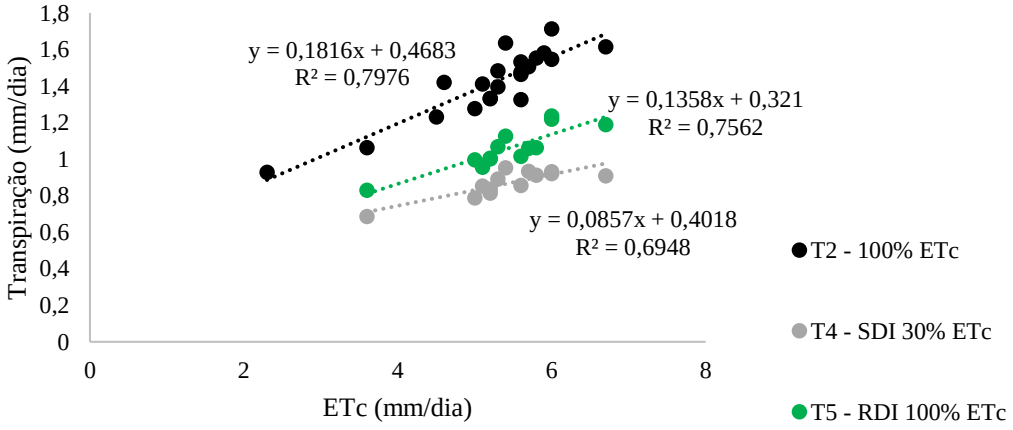


Figura 29. Regressão linear entre transpiração e evapotranspiração dos tratamentos de rega plena (T2-100%ET), rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)

O coeficiente basal K_{cb} obtido pela relação entre a transpiração do tratamento bem regado (T2) e a evapotranspiração de referência (T/ET_0) variou de 0,26 a 0,34 (Figura 30), com um valor médio de 0,30. A transpiração relativa (RT = Ta/T) das oliveiras em stress hídrico ($T4\text{-}SDI_{30}$) ficou entre 0,50 a 0,59 (Figura 30) com uma média de 0,56, e foi consequência da redução do teor de água do solo imposta pela redução da água aplicada que foi apenas 30% da ET estimada. Já no T5 os valores foram maiores que no T4 e variam entre 0,68 a 0,80 com o valor médio de 0,74, revelando um melhor estado hídrico que este tratamento de rega deficitária, comprovado pelos indicadores do estado hídrico.

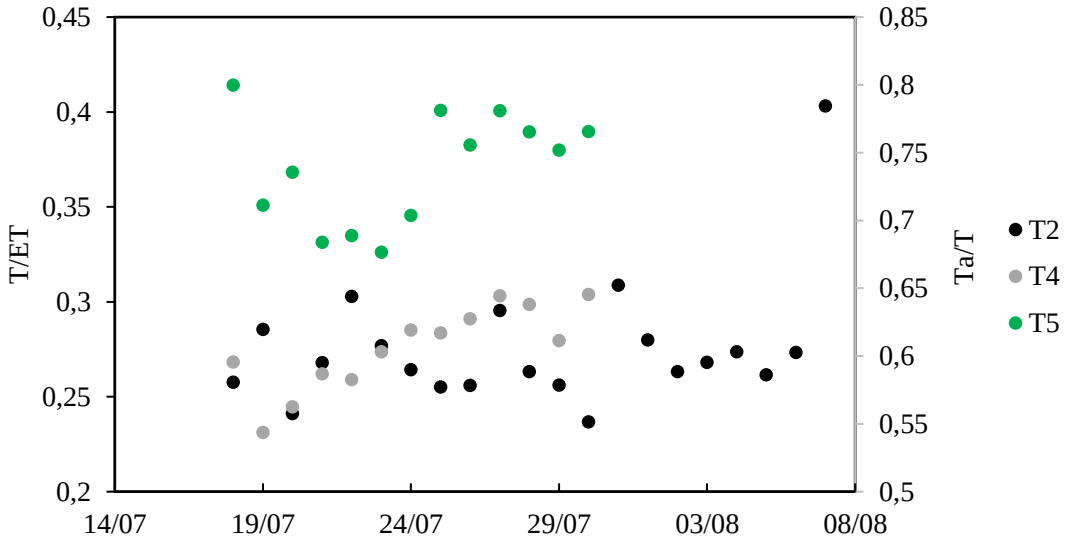


Figura 30. Coeficiente basal (K_{cb}) do tratamento de rega plena (T2-100%ET) e transpiração relativa dos tratamentos de rega deficitária continua (T4-30%ET) e rega deficitária controlada (T5-RDI100%ET)

Os valores de densidade de fluxo de seiva (Js) foram semelhantes aos observados noutros estudos em plantas de oliveira, ameixeira e laranjeira (Fernández *et al.*, 2001; Fernandez *et al.*, 2006; Nadezhdina *et al.*, 2007). O padrão diurno de Js radial no interior do tronco mostrou que os maiores valores foram registados na parte interna do câmbio, a 15 mm e a 25 mm, e os menores nas profundidades de 5 mm e 40 mm em todos os tratamentos. Esse comportamento permaneceu constante durante o dia. No entanto, um padrão diurno diferente ao longo do dia foi referido por (Fernández *et al.*, 2001; Nadezhdina *et al.*, 2007), uma vez que estes observaram os maiores valores de J_s a 5 mm abaixo do câmbio apenas no início da manhã, mudando este comportamento ao meio-dia onde os maiores valores de fluxo de seiva foram registados na parte interna do câmbio, a

15 e 25 mm. Nazezhdina *et al.* (2007) observaram dois tipos assimétricos de padrões radiais de fluxo de seiva em ramos e troncos de oliveira: o do Tipo 1, onde os valores atingiram o máximo próximo ao ponto médio do câmbio; e do Tipo 2, caindo continuamente de um máximo nos vasos xilémicos mais exteriores até zero no limite interno do câmbio. Esses autores também observaram que os padrões radiais do fluxo de seiva eram bastante estáveis durante o dia, mas que variavam com o conteúdo de humidade volumétrica do solo. Os autores explicaram que a diminuição do fluxo de seiva no xilema mais externo estava associada à depleção de água na camada superficial do solo. O baixo fluxo de seiva registado a 40 mm abaixo do câmbio confirma que as nossas sondas atingiram os limites mais profundos do alburno em cada uma das oliveiras monitorizadas, isto é, atingiram o limite da madeira funcional capaz de conduzir água.

O facto de que a transpiração máxima ocorre ao início da manhã é explicado pelo fecho estomático do meio-dia marcado nesta espécie (Fernandes-Silva *et al.*, 2010*)*. A magnitude dos valores de fluxo de seiva observados nas árvores do tratamento de rega plena (T2) foram muito inferiores às observadas por Santos (2007) num olival de mais de 80 anos de idade (12 m × 12 m) na região do Alentejo. O défice de água imposto no T4 causou uma diminuição acentuada da transpiração da oliveira para cerca de 50% do observado no tratamento T2, e cerca de 1,5 vezes no T5.

A boa concordância encontrada entre o fluxo de seiva diário e a capacidade evaporativa de água atmosférica diária observada para todos os tratamentos de rega, indicou que o método de compensação de impulso de calor revelou um bom desempenho na avaliação do uso de água em oliveiras nas nossas condições ambientais, como observado em estudos anteriores (Fernandes-Silva *et al.*, 2010).

Os valores dos coeficientes basais de cultura (K_{cb}) encontram-se na faixa dos valores observados para a oliveira no período de verão (Santos *et al.*, 2007). De acordo com Allen *et al.* (1998) em condições de stress hídrico, a transpiração padrão ($T_{máx}$) costuma ser reduzida e o K_{cb} precisa de ser ajustado a essas condições por meio de um coeficiente de stress (K_s). Para ajustar o limite superior das necessidades de rega na gestão de um regime de rega deficitária, que visa reduzir a água aplicada a 70% do que em condições de rega plena, pode ser considerado um K_s de 0,56 (no verão).

5. Conclusões e Perspetivas Futuras

A monitorização quer dos indicadores do estado hídrico, quer da transpiração permitiu observar a resposta da cultura às condições meteorológicas, em função dos diferentes tratamentos de rega, e o consumo de água destas ao longo do estudo.

Neste estudo, verificou-se que o tratamento de rega deficitária controlada (T5) se comportou de forma muito semelhante ao tratamento de rega plena (T2), excepto no momento em que houve interrupção da rega. Aí, os valores aproximaram-se dos observados no tratamento de rega deficitária contínua (T4). Porém, ao ser reposta a rega, o T5 conseguiu recuperar facilmente do stress hídrico. O T4 é o tratamento que apresenta os piores resultados ao longo de toda a estação, verificando-se um agravamento do stress hídrico com o passar do tempo.

Concluiu-se, ainda, que existem relações lineares entre a humidade volumétrica e o teor relativo de água nas folhas, e ainda, entre o potencial hídrico das plantas e o teor relativo de água nas folhas.

Com o estudo da transpiração, observou-se que é no xilema jovem que há o maior fluxo de seiva (15 e 25 mm), sendo menor na superfície (5 mm) e nos vasos xilémicos mais internos (40 mm). Chegou-se também à conclusão de que é durante as primeiras horas do dia que a velocidade de fluxo de seiva vai aumentando, até atingir um máximo por volta do meio dia solar. Aí, mantém-se ligeiramente constante até próximo das 18h, começando depois a diminuir até próximo das 21h. A transpiração diária das oliveiras segue um comportamento semelhante ao da ETc.

Posto isto, o método de compensação do impulso de calor parece um método útil fácil de usar, com custos económicos mais baixos do que outros utilizados, embora seja necessário continuar a estudar este tema, uma vez que, sendo a escassez de água um problema que se tem vindo a agravar, torna-se urgente o uso eficiente da água de rega. Para isso, é necessário estudar métodos eficazes para calcular o uso real de água na agricultura.

Além disso, no futuro será importante que, com base na informação obtida pelo método de fluxo de seiva, fosse desenvolvido um modelo matemático, tendo por base limiares de estado hídrico (identificador de stress e conforto hídrico), que permitisse criar

uma aplicação informática para conseguir a automatização da rega de forma a fornecer água apenas nos momentos em que a plante precisa.

Referências Bibliográficas Online

Andrade, V. 2018. Produção de azeite aumentou 80%. https://expresso.pt/economia/2018-03-23-Producao-de-azeite-aumentou-80 (consultado a 2 de março de 2020)

Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana. 2020. https://www.amtqt.pt/pages/298 (consultado a 24 de julho de 2020)

Casa do Azeite. 2020. http://www.casadoazeite.pt/Azeite/Denomina%C3%A7%C3%B5es-de-origem-protegida (consultado a 11de setembro de 2020)

Casa do Azeite. 2021. http://www.casadoazeite.pt/Azeite/Como-se-produz (consultado a 18 de abril de 2021)

COI. 2020. https://www.internationaloliveoil.org/ (Consultado a 8 de dezembro de 2020)

INE. 2021. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_main/ (consultado a 05 de junho de 2021)

Lusa. 2021. https://www.agroportal.pt/quase-11-me-para-reforco-do-regadio-no-vale-da-vilarica-em-tras-os-montes/ (consultado a 20 de julho de 2021)

Pavão, F. 2016. Olival Tradicional de Trás-os-Montes e Alto Douro. Um futuro a preservar. https://www.agroportal.pt/olival-tradicional-de-tras-os-montes-e-alto-douro-um-futuro-a-preservar-francisco-pavao/ (consultado a 25 de março de 2020)

Rodrigues, N., Casal, S., Baptista, P., Pereira, J. A., 2018. Variedades de oliveira minoritárias de Trás-os-Montes. http://vozdocampo.pt/2018/07/06/variedades-de-oliveira-minoritarias-de-tras-os-montes/ (consultado a 25 de março de 2020)

Serviruri. 2020. https://serviruri.pt/index.php?route=product/product&product_id=306 (consultado a 20 de setembro de 2020)

Vida Rural. 2020. https://www.vidarural.pt/insights/cultivares-de-oliveira-cobrancosa/ (consultado a 20 de setembro de 2020)

Voz do campo. 2019. Alentejo lidera em olival e produção de azeitona e azeite em Portugal. http://vozdocampo.pt/2019/10/27/alentejo-lidera-em-olival-e-producao-de-azeitona-e-azeite-em-portugal/ (consultado a 2 de março de 2020)

Referências Bibliográficas

Alcon, F., Tapsuwan, S., Matínez-Paz, J. M., Brouwer, R., de Miguel, M. D. 2014. Forecasting deficit irrigation adoption using a mixed stakeholder assessment methodology. *Technological Forecasting and Social Change* 83: 183-193

Alegre, S., Girona, J., Marsal, J., Arbonés, A., Mata, M., Montagut, D., Teixidó, F., Motilva, M. J., Romero, M. P. 1999. Regulated deficit irrigation in olive trees. In Acta Horticulturae 474: 373-376

Alegre, S., Marsal, J., Mata, M., Arbonés, A., Girona, J. 2002. Regulated Deficit Irrigation in Olive Trees (Olea Europaea L. cv. Arbequina) for Oil Production. In Acta Horticulturae 586: 259-262

Allen, R. G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements.* FAO Irrigation and Grainage Paper 56. FAO

Avillez, F. 2016. A importância económica do sector do azeite. In Seminário O sector do azeite em Portugal. Crescimento e competitividade, 28 de novembro, Lisboa

Bacelar, E., Gonçalves, B., Moutinho-Pereira, J., Correia, C. Botânica e Morfologia da Oliveira. In Rodrigues, M. A., Correia, C. M. 2009. Manual da safra e contra safra do olival. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Barros Maia, F., 2010. Contribuição para o estudo da fenologia de quatro variedades de oliveira (Olea europaea L.): 'Arbequina', 'Cobrançosa', 'Galega Vulgar' e 'Picual'. Dissertação de mestrado em engenharia agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 42 páginas

Barroso, J., Peças, J. O., Dias, A. B., Pinheiro, A., 2013. Evolução Tecnológica em olivicultura. In Bohm, J., O grande livro da oliveira e do azeite, Dinalivro editora, Lisboa: 80-167

Bosabalidis, A. M., Kofidis, G. 2002. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. *Plant Science* 163 (2): 375-379

Boussadia, O., Ben Mariem, F., Mechri, B., Boussetta, W., Braham, M., EL Hadj, S. B. 2008. Response to drought of two olive tree cultivars (cv Koroneki and Meski). *Scientia Horticulturae* 116 (4): 388-393

Caruso, G., Rapoport, H. F., Gucci, R. 2013. Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrigation Science* 31: 37-47

Castricini, A., de Oliveira, P. M., Martineli, M., Coelho, E. F., Rodrigues, M. G. V. 2019. Quality of "Tainung 1" papaya produced by partial root zone drying. *Revista Brasileira de Fruticultura*. Online publication, Doi: 10.1590/0100-29452019092

Chartzoulakis, K., Patakas, A., Bosabalidis, A. M. 1999. Changes in water relations, photosynthesis and leaf anatomy induced by intermittent drought in two olive cultivars. *Environmental and Experimental Botany* 42 (2): 113-120

Choné, X., van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., Gaudillère, J. P. 2001. Stem Water Potential is a Sensitive Indicator of Grapevine Water Status. *Annals of Botany* 8(4): 477-483

Cifre, J., Escalona, J. M., Medrano, H., Flexas, J. 2005. Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (Vitis vinifera L.): An open gate to improve water-use efficiency?. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 106 (2-3): 159-170

Civantos, L. 2001. La olivicultura en el mundo y en España. In Barranco, D., Fernández-Escobar, R. e Rallo, L. (eds). El Cultivo del Olivo. 4ª edição. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, pp. 17-34

Connor, D. J., Fereres, E. 2005. The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. *Horticultural Reviews* 31: 155-229

Debaeke, P., Aboudrade, A. 2004. Adaptation of crop management to water-limited environments. *European Journal of Agronomy* 21 (4): 433-446

DGADR. 2010. Produção Integrada do Olival. 2ª edição. Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas, Lisboa.

Dorji, K., Behboudian, M. H., Zegbe-Domínguez, J. A. 2005. Water relations, growth, yield, and fruit quality of hot pepper under deficit irrigation and partial rootzone drying. *Scientia Horticulturae* 104 (2): 137-149

Edwards, W. R. N., Warwick, N. W. M. 1984. Transpiration from a kiwifruit vine as estimated by the heat pulse technique and the Penman-Monteith equation. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 27 (4): 537-543

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A. 2009. Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Véronique S., Alberola C. Sustainable Agriculture. Springer, Dordrecht, p153-188

Fereres, E., Soriana, M., A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58 (2):147-159

Fernandes da Costa, G., Marenco, R. A., 2007. Photosynthesis, stomatal conductance and leaf water potential in crabwood (*Carapa guianensis*). In Acta Amazonica, 37(2), 229-234

Fernandes Silva, A. A., 2008. Necessidades hídricas e resposta da oliveira (*Olea europaea* L.) ao deficit hídrico na região da terra quente. Tese de doutoramento em Engenharia Agronómica, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 241p

Fernandes Silva, A. A., Ferreira, T.C, Correia, C. M., Malheiro, A. C., Villalobos, F. J. 2010. Influence of different irrigation regimes on crop yield and water use efficiency of olive. *Plant and Soil* 333: 35-47

Fernandes Silva, A. A., López-Bernal, A. 2016. Leaf water relations and gas exchange response to water deficit of olive (cv. Cobrançosa) in field grown conditions in Portugal. *Plant and Soil* 402: 1-2

Fernandes-Silva, A.A.; Esteves, A.; Correia, M.; Santos, F.L. 2010. Partial Rootzone Drying Irrigation Modulates Transpiration of Olive Trees. *Biol. Life Sci. Forum* 4, 78, doi:10.3390/IECPS2020-08844.

Fernández, J. E., Díaz-Espejo, A., Infante, J. M., Durán, P., Palomo, M. J., Chamorro, V., Girón, I. F., Villagarcía, L. 2006. Water relations and gas exchange in olive trees underregulated deficit irrigation and partial rootzone drying. *Plant Soil* 284: 273-291

Fernandez, J.E., Duran, P.J., Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Chamorro, V., Giron, I.F. 2006. Calibration of Sap Flow Estimated by the Compensation Heat Pulse Method in Olive, Plum and Orange Trees: Relationships with Xylem Anatomy. *Tree Physiol* 26,719–728, doi:10.1093/treephys/26.6.719.

Fernández, J. E., Martín-Palomo, M.J., Diaz-Espejo, A., Giro, I. 2003. Influence of partial soil wetting on watter relation parameters of the olive tree. *Agronomie* 23(7): 54-552

Fernández, J. E., Moreno, F. 2000. Water use by the olive tree. *Journal of Crop Production* 2 (2): 101-162

Fernández, J. E., Moreno, F., Cabrera, F., Arrue, J. L., Martín-Aranda, J. 1991. Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of olive trees. *Plant and Soil* 133: 239-251

Fernández, J. E., Moreno, F., Girón, I. F., Blázquez, O. M. 1997. Stomatal controlo f water use in olive tree leaves. *Plant and Soil* 190: 179-192

Fernández, J. E., Moreno, F., Martin-Aranda, J., Ferere, E. 1992. Olive-tree root Dynamics under diferente soil water regimes. *Agricoltura Mediterranea* 122: 225-235

Fernández, J. E., Palomo, M. J., Díaz-Espejo, A., Clothier, B. E., Green, S. R., Girón, I. F., Moreno, F. 2001. Heat-pulse measurements of sap flow in olives for automating irrigation: tests, root flow and diagnostics of water stress. *Aricultural Water Management* 51 (2): 99-123

Fernández, J. E., Perez-Martin, A., Torres-Ruiz, J. M., Cuevas, M. V., Rodrigues-Dominguez, C. M., Elsayed-Farag, S., Moralez-Sillero, A., García, J. M., Hernandez-Santana, V., Diaz-Espejo, A. 2013. A regulated deficit irrigation strategy for hedgerow olive orchards with high plant density. *Plant and Soil* 372: 279-295

Ferreira, I., Conceição, N., Pacheco, C. A., Häusler, M. 2012. Análise de indicadores de desconforto hídrico durante ciclos de stress num olival intensivo no Alentejo. In Actas Portuguesas de Horticultura, nº21, 15 a 17 de novembro, Mirandela, p. 207-215

García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V. H., Muriel-Fernández, J. L., Martínez-García, G., Jiménez-Bocanegra, J. A. 2011. Beneficts of low-frequency irrigation in citrus orchards. *Agronomy for Sustainable Development*. Online publication, DOI: 10.1007/s13593-011-0025-1

Giorio, P., Sorrentino, G., d'Andria, R. 1999. Stomatal behaviour, leaf water status and photosynthetic response in field-grown olive trees under water deficit. *Environmental and Experimental Botany* 42 (2): 95-104

Girona, J., Mata, M., Marsal, J. 2005. Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management* 75 (2): 152-167

González, L., González-Vlar, M.. Determination os Relative Water Content. In Reigosa Roger, M. J. 2001. Handbook of Plant Ecophysiology Techniques. Springer, Dordrecht

Granier, A. (1985). Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de séve brute dans le tronc des arbres. *Annales des Sciences Forestières* 42: 193-200.

Granier, A. (1987). Mesure du flux de sève brute dans le tronc du Douglas par une nouvelle méthode thermique. *Annales des Sciences Forestières* 44 (1): 1-14

Green, S., Clothier, B., Jardine, B. 2003. Theory and Pratical Apllication of Heat Pulse to Measure Sap Flow. *Agronomy Journal* 95: 1371-1379

Grime, V. L., Morrison, J. I. L., Simmonds, L. P. 1994. Including the heat storage term in sap flow measurements with the stem heat balance method. *Agricultural and Forest Meteorology* 74: 1-25

Grime, V. L., Sinclair, F. L. 1999. Sources of error in stem heat balance sap flow measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 94 (2): 103-121

Guerrero Garcia, A. 1991. Nueva olivicultura. 2ª edição, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid

Hsiao, T. C., Steduto, P., Fereres, E. 2007. A systematic and quantitative approach to improve water use efficiency in agriculture. *Irrigation Science* 25: 209-231

Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F., Villalobos, F. J. 2009. The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy* 30: 258-265

Intrigliolo, D. S., Castrel, J. R. 2007. Evaluation of grapevine water status from trunk diameter variations. *Irrigation Science* 26: 49-59

Intrigliolo, D. S., Puerto, H., Bonet, L., Alarcon, J. J., Nicolas, E., Bartual, J. 2011. Usefulness of trunk diameter variations as continuous water stress indicators of pomegranate (*Punica granatum*) trees. *Agricultural Water Management* 98 (9): 1462-1468

Intrigliolo, D. S., Bonet, L., Nortes, P. A., Puerto, H., Nicolas, E., Bartual, J. 2013. Pomegranate trees permormance under sustained and regulated deficir irrigation. *Irrigation Science* 31: 959-970

Jabloun, M., Sahli, A. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data: Application to Tunisia. *Agricultural Water Management* 95 (6): 707-715

Leitão, F., Potes, M. F., Calado, M., Almeida, F. J. 1986. Descrição de 22 variedades de oliveira cultivadas em Portugal. Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação, Lisboa, 111 p

Magno Viva, P. J. 2018. Comportamento fenológico e produtivo de cinco variedades de oliveira portuguesas na região de Elvas. Dissertação de mestrado em agricultura sustentável, Escola Superior Agrária de Elvas, Elvas, 99 páginas

Mahjoub, I., Masmoudi, M. M., Lhomme, J. P., Mechlia, M. B. 2009. Sap flow measurement by a single thermal dissipation probe: exploring the transient regime. *EDP Sciences*. Online publication. Doi: 10.1051/forest/2009043

Maillard, R. 1981. **L'Olivier.** CTIFL, Paris, 146 p

Mishra, A., Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391 (1-2): 202-216

Moriana, A., Fereres, E. 2002. Plant indicators for scheduling irrigation of young olive trees. *Irrigation Science* 21: 83-90

Moriana, A., Girón, I. F., Martín-Polomo, M. J., Conejero, W., Ortuño, M. F., Torrecillas, A., Moreno, F. 2010. New approach for olive trees irrigation scheduling using trunk diameter sensors. *Agricultural Water Management* 97 (11): 1822-1828

Moriana, A., Pérez-López, D., Prieto, M. H., Ramírez-Santa-Pau, M., Pérez-Rodriguez, J.M. 2012. Midday stem water potential as a useful tool for estimating irrigation requirements in olive trees. *Agricultural Water Management* 112: 43-54

Moriana, A., Villalobos, F. J., Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment* 25: 395-405

Moutinho-Pereira, J., Bacelar, E., Gonçalves, B., Correia, C. Gestão da Água no Olival. In Rodrigues, M. A., Correia, C. M. 2009. Manual da safra e contra safra do olival. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Naves-Barbiero, C. C., Franco, A. C., Bucci, S. J., Goldstein, G. 2000. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 12(2): 119-134

Nadezhdina, N.; Nadezhdin, V.; Ferreira, M.I.; Pitacco, A. 2007. Variability with Xylem Depth in Sap Flow in Trunks and Branches of Mature Olive Trees. *Tree Physiol* 27, 105–113, doi:10.1093/treephys/27.1.105.

Paiva, A. S., Fernandes, E. J., Rodrigues, T. J. D., Turco, J. E. P. 2005. Condutância Estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. *Engenharia Agrícola* 25(1): 161-169

Pansiot, F. P., Rebour, H. 1961. Mejoramiento del cultivo del olivo (*Olea europea* L.). Organizacion de las naciones unidas para la agricultura y la alimentacion, Roma

Passioura, J. 1996. Drought and drought tolerance. *Plant Growth Regulation* 20: 79-83

Patumi, M., d'Andria, R., Marsilio, V., Fontanazza, G., Morelli, G., Lanza, B. 2002. Olive and olive oil quality after intensive monocone olive growing (Olea europaea L., cv. Kalamata) in different irrigation regimes. *Food Chemistry* 77(1): 27-34

Pérez-Lopez, D., Ribas, F., Moriana, A., Olmedilla, N., de Juan, A. 2007. The Effect of irrigation schedules on the water relations and growth of a young olive (*Olea europeaea* L.) orchard. *Agricultural Water Management* 89: 297-304

Pimentel, C., Hébert, G. 1999. Potencial fotossintético e condutância estomática em espécies de feijão caupi sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 11(1): 7-11

Priego, J. M. 1932. Olivicultura. 1ª edição, Salvat Editores, Barcelona

Rallo Romero, L. 1994. Fructificación y producción en olivo. *Agricultura: Revista agropecuaria* 63 (746): 725-728

Ramos, A., Santos, F. L. 2009. Water use, transpiration, and crop coefficients for olives (cv. Cordovil), grown in orchards in Southern Portugal. *Biosystems Engineering* 102 (3): 321-333

Rodrigues, M. A., Correia, C. O ciclo Bienal da Oliveira. In Rodrigues, M. A., Correia, C. M. 2009. Manual da safra e contra safra do olival. Instituto Politécnico de Bragança, Bragança.

Rodrigues, O., Teixeira, A., Geraldes, A., Aguiar, C., Gonçalves, D.,Fonseca, F., Castro, J. P., Castro, J., Fernandes, L. F., Cortêz, P. de Figueiredo, T. 2006. Plano Regional de Ordenamento do território de Trás-os-Montes e Alto Douro. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança, Comissão de Coordenação e de Desenvolvimento Regional do Norte

Sakuratani, T., A. 1981. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. *Japanese Agricultural Meteorology* 37: 9-17.

Santos, F. L., Correia, M. M., Coelho, R. R., Sousa, A., Afonso do Paço, T., Pereira, L. S. 2013. Efeitos da rega e do regime hídrico em olival super intensivo no Alentejo. *Revista de Ciências Agrárias* 36(2): 206-219

Santos, F. L., Valverde, P. C., Ramos, A. F., Reis, J. L., Castanheira, N. L. 2007. Water use and response of a dry-farmed olive orchard recently converted to irrigation. *Biosystems Engineering* 98: 102-114

Santos, L., Ramos, A. 1987. A cultura da oliveira. Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Castelo Branco, Castelo Branco

Scholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E. e Hemmingsen, E. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148: 339-345

Schwabe, W. W., Lionakis, S. M. 1996. Leaf attitude in olive in relation to drought resistance. *Journal of Horticultural Science* 71 (1): 157-166

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M. N., Jacobsen, S. E., Jensen, C. R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. *Field Crops Research* 100 (1): 117-124

Smart, R. E., Bingham, G. E. 1974. Rapid Estimates of Relative Water Content. *Plant Physiology* 53: 258-260

Smith, D. M., Allen, S. J. 1996. Measurement os sap flow in plant stems. *Journal of Experimental Botany* 47: 1833-1844

Swanson, R. H. 1994. Significant historical developments in thermal methods for measuring sap flow in trees. *Agricultural and Forest Meteorology* 72 (1-2): 113-132

Tognetti, R., Giovannelli, A., Lavini, A., Morelli, G., Fragnito, F., d'Andria, R. 2009. Assessing environmental controls over conductances through the soil–plant–atmosphere continuum in an experimental olive tree plantation of southern Italy. *Agricultural and Forest Meteorology* 149 (8): 1229-1243

Torres, L. 2007. A cultura da oliveira e a produção integrada. In Azevedo, J. (ed.). Manual de protecção integrada do olival. Tipografia Guerra, Viseu, pp. 23-29

Toureiro, C. M. C., Serralheiro, R. P., Oliveira, M. R. 2007. Maximização da economia da água em regadio: rega deficitária controlada. In II Congresso Nacional de Rega e Drenagem, Fundão, 26, 27 e 28 de junho

Valverde, P. M. C. 2013. Medição e modelação da transpiração em olivais regados no Alentejo. Dissertação de mestrado em engenharia de recursos hídricos, especialidade em planeamento e gestão da água, Universidade de Évora, Évora, 87 páginas.

Vergeynst, l. L., Vandegehuchte, M. W., McGuire, M. A., Teskey, R. O., Steppe, K. 2014. Changes in stem water content influence sap flux density measurements with thermal dissipation probes. *Trees* 28: 949-955

Wahbi, S., Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H., Serraj, R. 2005. Effects of partial rootzone drying (PRD) on adult olive tree (Olea europaea) in field conditions under arid climate: I. Physiological and agronomic responses. Agriculture, Ecosystems & Environment 106 (2-3): 289-301

Wakrim, R., Wahbi, S., Tahi, H., Aganchich, B., Serraj, R. 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (Phaseolus vulgaris L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment* 106 (2-3): 275-287

Zegbe, J. A., Behboudian, M. H., Clothier, B. E. 2004. Partial rootzone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water* Management 68 (3): 195-206