



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
Mestrado em Engenharia Agrónómica

Necessidades hídricas do olival regado no Alentejo

Tese de Mestrado realizada por:

Etevaldo Calisto Cheveia

Orientador:

Professor Doutor Francisco Lúcio Brito dos Santos

Évora, Outubro de 2012



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
Mestrado em Engenharia Agrónómica

Necessidades hídricas do olival regado no Alentejo

Tese de Mestrado realizada por:

Etevaldo Calisto Cheveia

Orientador:

Professor Doutor Francisco Lúcio Brito dos Santos

Évora, Outubro de 2012

À minha mãe, que de certeza se sentiria
muito orgulhosa em ver-me atingirmos
um patamar académico.

Agradecimentos

A concretização deste trabalho só foi possível graças ao Projecto “H2OLIVE3S” financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e apoiado pela Fundação Eugénio de Almeida e empresa Olivais do Sul, e ao seu coordenador, Professor Francisco Lúcio Brito dos Santos, a quem endereço os meus profundos agradecimentos. Estes agradecimentos estendem-se também à (ao):

Equipa de Bolseiros do mesmo projecto, Manuela Correia e Pedro Valverde, pela colheita de dados, pela explicação do funcionamento dos dataloggers e pelos ensinamentos que me transmitiram.

Professora Adélia de Sousa pelo conhecimento transmitido sobre as reflectâncias espectrais e índices de vegetação.

Professor Shakib Shahidian pelas palavras de encorajamento, pelo conhecimento transmitido.

Professor Renato Coelho, pelo conhecimento transmitido sobre aspectos fisiológicos da oliveira.

Direção Regional de Agricultura, pela informação disponibilizada sobre a Oliveira.

Rodrigo, Custódio e ao Sr. Condeças, do Laboratório de Hidráulica e Hidrologia do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM) da Universidade de Évora, pela ajuda prestada na montagem do ensaio e na colheita de dados.

Meu Pai, meus irmãos, minha madrinha e suas filhas pela força e encorajamento dados desde o início do mestrado.

Meu amigo Avelino que tem vindo a acompanhar a minha formação, pela amizade incondicional.

Minha amiga Damboia pela sua amizade e pelo seu apoio psicológico durante a elaboração da tese.

Por fim, à minha noiva Zeferina pelo amor, pelo encorajamento, pelo carinho e pelo apoio emocional.

RESUMO

As necessidades hídricas da oliveira são uma questão muito importante na região mediterrânica devido as condições climáticas da zona, que é caracterizada por verões muito quentes e secos. Este cenário obriga a que se tenha que recorrer a sistemas de rega para fornecer água à cultura, para que se obtenham produções aceitáveis comercialmente (comercialmente viáveis).

O presente trabalho foi realizado em duas herdades, Álamo de Cima e Olivais do Sul. A primeira segue o regime intensivo de plantação, com aproximadamente 300 árvores por hectare e a segunda o regime super-intensivo, com cerca de 2000 árvores por hectare. O objectivo do ensaio foi avaliara transpiração de dois olivais (intensivo e super-intensivo) com o método de fluxo de seiva, ao longo do período de rega; avaliar também a evapotranspiração cultural usando o método do balanço hídrico e os coeficientes culturais dos dois olivais ao longo do período de rega;e relacionar a transpiração com o balanço e potenciaishídricos, e com a produção dos dois olivais.

Em cada herdade foram testadas duas dotações de rega diferentes, FI (rega praticada e conduzida pelos técnicos na herdade) e DI (rega a testar). Para a herdade Álamos de Cima, a modalidade FI usa gotejadores de 1,6 L/hde débito para a rega do agricultore gotejadores de 2,3 L/h para a modalidade DI (rega a testar). Para a herdade Olivais do Sul, a modalidadeFI (rega praticada e conduzida pelos técnicos na herdade) tem gotejadores de 2,3 L/h, com gotejadores de 1,6 L/h para a modalidade DI (rega a testar). Em ambas as herdades e modalidades de rega, a calendarização e os tempos de rega são da responsabilidade do agricultor, daí a substituição de rampas com diferentes gotejadores para se obter as dotações desejadas nas modalidades a testar.

Em cada modalidade de rega foram escolhidas 3 linhas consecutivas de árvores no olival onde se instalou, na segunda linha e em 3 árvores consecutivas, sondas de fluxo de seiva para medir a transpiração em contínuo, servindo as outras linhas de bordadura. Instalaram – se tubos de acesso à sonda de humidade no solo para se monitorar a humidade e deste modo calcular – se a variação do armazenamento, que é uma das componentes da equação do balanço hídrico para a determinação da evapotranspiração cultural.

Na herdade do Álamo de Cima a transpiração da cultura foi maior para a modalidade DI (com gotejadores de 2,3 L/h e dotação mais elevada) com 202 mm, enquanto que a FI (com gotejadores de 1,6 L/h e menor dotação) registou 177,2 mm. Na herdade Olivais do Sul a transpiração foi maior para a modalidade FI (de maior dotação) com 349,1 mm, enquanto que a DI (de menor dotação) registou 345,2 mm. Esta transpiração corresponde à transpiração integral do período, que foi de 06/05 a 06/10/11.

A evapotranspiração cultural pelo método do balanço hídrico foi de 435,1 mm para a modalidade FI, e de 412,8 mm para a modalidade DI e para a herdade dos Olivais do Sul, correspondendo ao já verificado com a transpiração obtida pelo método do fluxo de seiva. Para a herdade - Álamo de Cima, a evapotranspiração foi de 327,3 mm para a modalidade FI e 312,3 mm para a modalidade DI.

Em relação à produção, os rendimentos foram de 1,78 toneladas por hectare para a modalidade FI e de 2,45 toneladas por hectare para a modalidade DI e para a herdade do Álamo de Cima. Na herdade Olivais do Sul o rendimento foi de 18,7 toneladas por hectare para a modalidade FI e de 14,1 toneladas por hectare para a modalidade DI.

Palavras-chave: fluxo de seiva, transpiração, balanço hídrico, evapotranspiração.

WATER REQUIREMENTS OF IRRIGATED OLIVE GROVE IN THE ALENTEJO

Abstract

The water requirements of olive are very important issue in the Mediterranean region due to the climatic conditions of the area which is characterized by very hot summer and dry. This scenario obliges to resort to watering systems to supply water to the crop for the achievement of commercially acceptable yields (commercially viable).

This study was conducted at two farms, Alamo de Cima and Olivais do Sul. The first uses intensive regime (around 300 trees per hectare) and the second super-intensive (around 2000 trees per hectare). The aim of this study was to calculate the transpiration of two groves (intensive and super-intensive) with the method of sap flow throughout the irrigation period; calculate the crop evapotranspiration by water balance method and the crop coefficients of the two groves along the irrigation period; relate transpiration with the water balance and yield of the two groves.

In each farm were tested two modes of irrigation. For Alamo de Cima farm, FI (irrigation practiced on the farm) uses drip irrigation with 1,6L/h and DI (irrigation test) with 2,3L/h. For the farm Olivais do Sul FI (irrigation practiced on the farm) uses drip irrigation with 2,3 L/h and 1,6L/ h for DI (irrigation test).

In each mode of irrigation were chosen three consecutive rows of olive trees where were settled in the second row on 3 consecutive trees sap flow probes to measure the transpiration continuously. Access tubes were settled in the soil to monitor soil moisture in order to calculate the variation of water storage which is a component of the water balance equation for the determination of evapotranspiration.

In the Alamo de Cima farm the transpiration was higher for DI mode with 202 mm while the FI recorded 177,2 mm. In the Olivais do Sul farm the transpiration was higher for FI mode with 349,1 mm while the DI recorded 345,2 mm. This transpiration corresponds to transpiration for the period from 06/05 to 06/10/11.

Evapotranspiration by the water balance method was 435,1 mm for the FI mode and 412,8mm for DI mode for the Olivais do Sul farm. For the Alamo de Cima farm the evapotranspiration was 327,3 mm for the FI mode and 312,3 mm for DI mode.

In relation to production, yields were 1,78 t/ha for the FI mode and 2,45 t/ha for DI mode for the AC farm. In the OS farm the yield was 18,7 t/ha for the FI mode and 14,1 t/ha for DI mode, reflecting the added water, and the transpiration and evapotranspiration.

Keywords: sap flow, transpiration, water balance, evapotranspiration.

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
RESUMO.....	iii
Abstract.....	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. OBJECTIVOS DO TRABALHO	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. IMPORTÂNCIA ECONÓMICA DO OLIVAL	3
2.2. ÁREA OCUPADA PELO OLIVAL EM PORTUGAL	4
2.3. O MERCADO DO AZEITE	6
2.3.1. Mercado Português	7
2.4. DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E RESPOSTA FISIOLÓGICA DA OLIVEIRA.....	10
2.5. UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PELA OLIVEIRA: TRANSPIRAÇÃO VERSUS EVAPORAÇÃO	12
2.5.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO.....	12
2.5.1.1. DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO A PARTIR DO MÉTODO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO	16
2.5.2. DETERMINAÇÃO DO KC USANDO O MÉTODO DE TESTI	18
2.5.3. TRANSPIRAÇÃO.....	21
2.6. ORIGEM E ANTECEDENTES DO MÉTODO DO IMPULSO DE CALOR (COMPENSATION HEAT-PULSE)	21
2.6.1. ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO DA OLIVEIRA USANDO O MÉTODO DO IMPULSO DE CALOR (COMPENSATION HEAT-PULSE)	23
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO	25
3.1.1. HERDADE DOS ÁLAMO DE CIMA	26
3.1.2. HERDADE DOS OLIVAIS DO SUL	27

3.2.	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ZONA DO ENSAIO.....	28
3.3.	CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS	30
3.3.1.	HERDADE DO ÁLAMO DE CIMA	30
3.3.2.	HERDADE DOS OLIVAIS DO SUL	30
3.4.	MÉTODOS DE CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DA TRANSPIRAÇÃO.....	33
3.4.1.	MÉTODO DE FLUXO DE SEIVA POR IMPULSO DE CALOR (HEAT PULSE VELOCITY-HPV).....	33
3.4.1.1.	METODOLOGIA DE INSTALAÇÃO DAS SONDAS HPV	36
3.4.2.	MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO PARA O CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL	38
3.5.	RELAÇÃO T/ET_0 E COEFICIENTES CULTURAIS	42
3.5.1.	RELAÇÃO TRANSPIRAÇÃO/EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (T/ET_0)	42
3.5.2.	RELAÇÃO GENERALIZADA T/ET_0 (K_c) PELO MÉTODO DE TESTI.....	43
3.6.	ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DOS DOIS OLIVAIS.....	46
3.7.	ANÁLISE DOS DADOS E CÁLCULO DO FLUXO DE SEIVA	46
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4.1.	TRANSPIRAÇÃO DOS DOIS OLIVAIS (INTENSIVO E SUPER- INTENSIVO) ATRAVÉS DO MÉTODO DE FLUXO DE SEIVA, AO LONGO DO PERÍODO DE REGA	50
4.2.	ÁGUA DE REGA VERSUS TRANSPIRAÇÃO	53
4.3.	POTENCIAL HÍDRICO DO RAMO.....	54
4.3.1.	RELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL HÍDRICO E A ÁGUA DISPONÍVEL RELATIVA (RAW).....	55
4.3.2.	EVOLUÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL RELATIVA (RAW) AO LONGO DO PERÍODO DE REGA	58
4.4.	EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO	60

4.5. RELAÇÃO TRANSPIRAÇÃO/EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (T/ET _o)	61
4.6. RELAÇÃO GENERALIZADA T/ET _o (K _c) PELO MÉTODO DE TESTI.....	62
4.7. PRODUÇÃO DE AZEITONA	64
5. CONCLUSÕES	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	68
7. ANEXOS	72
Anexo 1: Rega das herdades Olivais do Sul e Álamo de Cima.....	72
Anexo 2: Calendário das mudanças de rega nos tratamentos DI de Olivais do Sul e Álamo de Cima	85
Anexo 3: Caracterização dos solos	86
Anexo 4: Produção Final	87
Anexo 5: Cálculos envolvidos no método do balanço hídrico do solo, para a obtenção de ET _c	88
Anexo 6: Sequência do cálculo para a obtenção do K _c segundo o método de Testi....	91

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1: CONSUMO PER CAPITA DE AZEITE.....	4
TABELA 2: ÁREA DE OLIVAL ALOCADA POR REGIÃO CONSOANTE A FINALIDADE DE PRODUÇÃO	5
TABELA 3: ÁREA DE OLIVAL INTENSIVO E SUPRE-INTENSIVO NAS REGIÕES DE PORTUGAL.....	6
TABELA 4: DADOS DO ENSAIO	26
TABELA 5: TEORES DE ÁGUA RETIDA (VALORES MÉDIOS OBSERVADOS) A DIFERENTES PF (SUCCÕES E PRESSÕES), MASSA VOLÚMICA APARENTE (MVA) E CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA (KS) OBTIDOS EM AMOSTRAS NO ESTADO NATURAL DE 2 PERFIS DE SOLO (P186 E P187). (AGRADECE-SE AO ENG.º JOSÉ CASIMIRO MARTINS E A EQUIPA DO DEPARTAMENTO DE SOLOS DA EX-ESTAÇÃO AGRONÓMICA NACIONAL (OEIRAS) O FORNECIMENTO DESTES DADOS, BEM COMO OS APRESENTADOS NA NO ANEXO 3).....	31
TABELA 6: VALORES DE F1 E F2	45
TABELA 7: ÁGUA FORNECIDA VERSUS TRANSPIRAÇÃO DURANTE TODO O PERÍODO DO ENSAIO.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO E DO CONSUMO MUNDIAL DE AZEITE.....	7
FIGURA 2: EVOLUÇÃO DO CONSUMO DO AZEITE EM PORTUGAL (%).....	8
FIGURA 3: EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE AZEITE EM PORTUGAL (1000 TON)	9
FIGURA 4: CURVA DE KC PARA UM OLIVAL EM CÓRDOBA (ESPANHA) E FRESNO (CALIFÓRNIA)	14
FIGURA 5: RELAÇÃO T/ETO PARA DIFERENTES TRATAMENTOS DE REGA (RAMOS E SANTOS, 2009). (◆) – TRATAMENTO A, DE REGA PLENA, (□) – TRATAMENTO B DE REGA DEFICITÁRIA SUSTENTÁVEL, (Δ) – TRATAMENTO C DE REGA DEFICITÁRIA CONTROLADA, (X) – TRATAMENTO D, DE SEQUEIRO.	15
FIGURA 6: ILUSTRAÇÃO DO PERFIL DA HERDADE DOS OLIVAIS DO SUL....	31
FIGURA 7: CONJUNTO DE SONDAS HPV PARA MEDIÇÃO DO FLUXO DE SEIVA COM UMA SONDA DE AQUECIMENTO (AO CENTRO) E DUAS SONDAS DE TEMPERATURA.....	33
FIGURA 8: MODO DE INSTALAÇÃO DE UM CONJUNTO DE SONDAS PARA MEDIÇÃO DO FLUXO DE SEIVA NUM TRONCO ATRAVÉS DO MÉTODO COMPENSATION HEAT PULSE. (VISTA DE PERFIL) R=RAIO DO TRONCO; H=ESPESSURA DA ZONA SEM CONDUÇÃO DE SEIVA; R =ESPESSURA DA ZONA DE CONDUÇÃO DE SEIVA.	35
FIGURA 9: EXECUÇÃO DOS ORIFÍCIOS PARA A INSTALAÇÃO DAS SONDAS HPV COM UMA PEÇA-GUIA QUE GARANTE A PRECISÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS ORIFÍCIOS.	36
FIGURA 10: ASPECTO DAS SONDAS NO TRONCO APÓS A SUA INSTALAÇÃO	37

FIGURA 11: DATALOGGER E EQUIPAMENTO USADO PARA CONTROLAR AS SONDAS E ACUMULAR OS DADOS DE TZ, A PARTIR DOS QUAIS SE CALCULA O FLUXO DE SEIVA.	37
FIGURA 12- DISTRIBUIÇÃO DE TUBOS PARA SONDAS DE HUMIDADE AC_DI.	40
FIGURA 13: DISTRIBUIÇÃO DE TUBOS PARA SONDAS DE HUMIDADE AC_FI.	40
FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DE TUBOS PARA SONDAS DE HUMIDADE OS_FI	41
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DE TUBOS PARA SONDAS DE HUMIDADE OS_DI	41
FIGURA 16: OBTENÇÃO DE AMOSTRAS DE MADEIRA DO TRONCO PARA DETERMINAR A ESPESSURA DA ZONA DE CIRCULAÇÃO DA SEIVA (SAPWOOD) E DAS FRACÇÕES DE MADEIRA E ÁGUA DA MADEIRA.....	49

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: EVOLUÇÃO DO DÉFICE DE PRESSÃO DE VAPOR (◆) E DA RADIAÇÃO LÍQUIDA (X) AO LONGO DO PERÍODO DE REGA	29
GRÁFICO 2: CURVAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PARA OS DOIS PERFIS, NOMEADAMENTE A) E B) PARA O P186 E C) E D) PARA O P187. 32	
GRÁFICO 3: EVOLUÇÃO DA TRANSPIRAÇÃO AO LONGO DO PERÍODO DE REGA,  TRANSPIRAÇÃO (MM/DIA) _OS_FI,  TRANSPIRAÇÃO (MM/DIA)_OS_DI,  TRANSPIRAÇÃO (MM/DIA) _AC_FI,  TRANSPIRAÇÃO (MM/DIA) _AC_DI	51
GRÁFICO 4: TRANSPIRAÇÃO POR FASES, A) OS E B) AC	53
GRÁFICO 5: POTENCIAL HÍDRICO AO LONGO DO PERÍODO DE REGA NOS OLIVAIS DO SUL E ÁLAMO DE CIMA, FI E DI, CORRESPONDENTE AOS DIAS 17 E 31 DE MARÇO, 14 E 26 DE ABRIL, 11 E 24 DE MAIO, 7 E 20 DE JUNHO, 6 E 21 DE JULHO, 5 E 30 DE AGOSTO, 22 DE SETEMBRO E 6 DE DEZEMBRO.....	55
GRÁFICO 6: RELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL HÍDRICO E O RAW, A) OS_DI, B) OS_FI,.....	57
: GRÁFICO 7: RELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL HÍDRICO E O RAW, A) AC_FI E B) AC_DI.....	58
GRÁFICO 8: EVOLUÇÃO DA FRACÇÃO DE ÁGUA DISPONÍVEL RELATIVA NO SOLO, A) OS_FI, B) OS_DI E C) AC_FI.	59
GRÁFICO 9: RELAÇÃO TRANSPIRAÇÃO/EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (T/ETO).....	62
GRÁFICO 10: VALORES DE KC PELO MÉTODO TESTI.....	63
GRÁFICO 11: VALORES DE KT PELO MÉTODO DE TESTI	63
GRÁFICO 12: PRODUÇÃO DOS OLIVAIS, A) OS_FI E OS_DI E B) AC_FI E AC_DI	65

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Nome	Unidades
ΔS	Variação do armazenamento de água no solo	mm
ΨF	Potencial hídrico foliar	MPa
ΨB	Potencial hídrico foliar de base	MPa
ΨMD	Potencial hídrico foliar mínimo ao meio-dia	MPa
CS	Fração de solo coberto pela copa	-
DOY	Dias do ano	dia
Dp	Densidade de plantação	árvores/ha
D	Percolação profunda	mm
DAP	Densidade aparente	-
Dg	Diâmetro médio do solo humedecido	m
Ep	Transpiração da planta	mm/d
Es	Evaporação da superfície do solo	mm/d
Epd	Evaporação directa da folhagem	mm/d
Ew	Evaporação das áreas molhadas pelos gotejadores	mm/d
ETo	Evapotranspiração de referência	mm/d
ETc	Evapotranspiração cultural	mm/d
FM	Fração de água	-
FL	Fração de madeira seca	-
FTSW	Fração da água total	-
F	Frequência mensal de chuvas	-
fw	Fração de solo humedecida pelos gotejadores	-

H	Altura da copa	m
I	Intervalo de rega	dia
i	Rega	-
J	Densidade do fluxo de seiva	m/s
Kt	Coeficiente de transpiração	-
Ks	Coeficiente de evaporação da superfície do solo	-
Kg	Coeficiente de evaporação da superfície do solo molhado pelos gotejadores	-
Kc	Coeficiente cultural	-
Ks	Condutividade hidráulica saturada	cm/d
Kr	Coeficiente de extinção da radiação	-
LAD copa	Densidade de área foliar	m ² folha/m ³
Mva	Massa volúmica aparente	kg/m ³
Ng	Número de gotejadores/árvore	-
Pmon	Precipitação média mensal	mm
Qi	Entrada de água na zona radicular	mm
Qo	Saída de água da zona radicular	mm
Qd	Fração de radiação interceptada pela copa	-
Q	Fluxo de seiva volumétrico	m ³ /s
R	Escoamento superficial	mm
RAW	Água disponível relativa	-
RWE	Água extraível relativa	-
R ²	Coeficiente de determinação	-

U	Ascensão capilar para a zona radicular	mm
V _o	Volume de copa da oliveira	m ³ /árvore
V _u	Volume de copa por unidade de superfície de solo	m ³ /m ²
V	Velocidade do impulso de calor	cm/h
V _c	Velocidade do impulso de calor corrigida	cm/h

1. INTRODUÇÃO

A oliveira (*Olea europaea* L.) constitui um elemento característico da paisagem Mediterrânica. A origem desta espécie não é clara, pensando-se que poderá ser oriunda de qualquer parte da Bacia Mediterrânica Oriental ou da Ásia Menor (Fernández e Moreno, 1999). É considerada das plantas mais antigas sob cultivo, remontando a sua domesticação, na Bacia Mediterrânica Oriental, a cerca de 3000 a 4000 anos A.C. (Connor e Fereres, 2005). Daqui foi transportada pelas diversas civilizações, para outras regiões que iam sendo ocupadas, tal como o Norte de África, a Península Ibérica e o resto do Sul da Europa.

Melhorias na gestão da rega são urgentemente necessárias em regiões onde os recursos hídricos são escassos e estão sendo empobrecidos por má gestão, salinidade e má qualidade (Santos *et al.*, 2007). Esta gestão é necessária não apenas para melhorar a produtividade da água (Hsiao *et al.*, 2007) mas também para aumentar a sustentabilidade da agricultura regada, melhorando a eficiência da rega numa situação de forte competição pelos recursos hídricos (Santos *et al.*, 2007).

Devido à característica infrequente e limitada da precipitação anual nas regiões mediterrânicas, há um interesse crescente no melhoramento do uso da água para rega das oliveiras e associado ao facto dos sistemas de rega serem gota-a-gota e a disponibilidade de água para a agricultura ser muitas vezes escassa (Santos *et al.*, 2007).

A oliveira é uma cultura estratégica da bacia do Mediterrâneo, altamente adaptada a seca e atinge produções aceitáveis mesmo quando não regada. No entanto, a sua rega tem provado ser importante, levando ao aumento da produção e à melhoria da qualidade do fruto (Fernández & Moreno, 1999 citados por Santos *et al.*, 2007).

Práticas de gestão de rega deficitárias muitas vezes impostas pela disponibilidade baixa de água e por anos secos, podem maximizar os rendimentos e fornecer benefícios económicos (Ramos e Santos, 2009). A optimização das práticas de gestão de rega requer mais investigação na resposta da oliveira ao stresse hídrico através de rega deficitária regulada e programas de gestão de rega eficientes (Santos *et al.*, 2007).

O presente trabalho foi levado a cabo para se avaliarem necessidades de rega de duas modalidades de plantação de olival, nomeadamente intensivo e super-intensivo, muito praticadas na região do Alentejo. Recolheram – se dados de transpiração da planta utilizando o método de fluxo de seiva, e foram recolhidos também dados de humidade do solo através de sondas de humidade instaladas no campo, que foram usadas no cálculo da evapotranspiração cultural pelo método do balanço hídrico.

1.1. OBJECTIVOS DO TRABALHO

Os objectivos definidos para o trabalho em análise foram:

- Avaliar a transpiração de dois olivais (intensivo e super-intensivo) com o método de fluxo de seiva, ao longo do período de rega;
- Avaliar a evapotranspiração cultural usando o método do balanço hídrico e os coeficientes culturais dos dois olivais ao longo do período de rega;
- Relacionar a transpiração com o balanço e os potenciais hídricos, e com a produção dos dois olivais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. IMPORTÂNCIA ECONÓMICA DO OLIVAL

Segundo Pinheiro *et al.* (2000) a importância da olivicultura no sector agrícola português tem, nos últimos anos, vindo a aumentar sendo cada vez maior a área de olival plantada. A modernização desta actividade tem-se traduzido, principalmente, na plantação de novos olivais, na introdução de rega e na mecanização das diferentes operações culturais. Os aspectos negativos relacionados com o efeito que algumas práticas culturais têm sobre o ambiente vêm merecendo, igualmente, atenção quer por parte da comunidade científica quer por parte da comunidade agrícola.

Segundo estudos da empresa de consultadoria ADE (Aide à la Décision Économique) datados de 2002 e citados por Milié *et al.* (2004), o rendimento médio de produção de olival, expresso em toneladas por hectare, aumentou 3% por ano na União Europeia durante a década de 90, tendo-se verificado no mesmo período um aumento anual de área cultivada de 1,2% e do total anual de toneladas produzidas que cresceu 4,1%. O aumento da produção nos países produtores da União Europeia deve-se à expansão das áreas de cultivo e ao aumento de produção por hectare, decorrente de um melhor domínio das técnicas de cultivo, fertilização, protecção fitossanitária, e sobretudo da introdução da rega. Porque as oliveiras fazem um uso muito eficiente da água, é possível nestas condições obter o triplo ou o quádruplo do rendimento de produção em relação aos olivais não regados (Milié *et al.*, 2004).

De um modo geral, devido às economias de escala, os custos por unidade de produção são mais baixos em cultivo intensivo do que em extensivo, o que explica que a cultura da oliveira se faça actualmente em regime mais intensivo e com rega, em detrimento do modo de cultura tradicional com maior compasso entre as árvores e em regime de sequeiro (Valverde, 2005).

Actualmente, cerca de 95% da superfície oleícola mundial está concentrada na Bacia Mediterrânica, sendo os países produtores da União Europeia (Espanha, Itália, França, Grécia e Portugal) responsáveis por 71% da produção a nível mundial.

Os outros principais países produtores são a Tunísia (4,1%), a Turquia (5,4%), a Síria (6,6%), Marrocos (5,1%) e a Argélia (1,6%) (EDIA, 2011). Os consumos *per capita* são ainda muito díspares, quer entre os países produtores e não produtores quer mesmo entre os países produtores. Destaca-se a Grécia, a Espanha e a Itália como os maiores consumidores *per capita* de azeite (tabela 1).

Tabela 1: Consumo per capita de azeite

Países produtores		Países não produtores	
	kg per capita		kg per capita
Grécia	23,7	EUA*(300 milhões de hab.)	0,87
Espanha	13,6	Reino Unido	0,76
Itália	12,4	Alemanha	0,51
Tunísia	9,1	Austrália	2,13
Portugal	7,1	Japão(127 milhões hab.)	0,25
Síria	6	Brasil (186 milhões de hab.)	0,195
Marrocos	1,8	Rússia (141 milhões de hab.)	0,07
França	1,3	China (1,32 mil milhões de hab.)	0,0048
Turquia	1,2	Índia (1,02 mil milhões de hab.)	0,002
		Canadá	0,61

Fonte: EDIA, 2011

2.2. ÁREA OCUPADA PELO OLIVAL EM PORTUGAL

O olival é, em termos de área, a principal cultura permanente, ocupando 52% da superfície de culturas permanentes (excluindo o pinheiro manso), e está presente em 43% das explorações agrícolas. Estende-se por 336 mil hectares, todos no continente, sendo a esmagadora maioria (99%) destinados à produção de azeitona para azeite (Tabela 1). O Alentejo é a principal região olivícola, com 49% da área de olivais, seguido de Trás-os-Montes (22%) e Beira Interior (14%). A plantação intensiva e super-intensiva, com densidades médias entre 300 e 2000 árvores por hectare, já ocupa 9% da superfície de olival para azeite, particularmente concentrada no Alentejo (79%), região onde esta

cultura ocupa estrategicamente um lugar de destaque no aproveitamento dos novos empreendimentos hidroagrícolas que foram surgindo ao longo da última década. Nesta região, os olivais com densidades superiores a 300 árvores por hectare (intensivos e super-intensivos) são propriedade principalmente de empresas agrícolas constituídas sob a forma jurídica de sociedade, que exploram 21 mil dos 24,5 mil hectares destes olivais (Instituto Nacional de Estatística, 2009). A tabela 2 apresenta a área de olival alocada por região, consoante a finalidade de produção, e a tabela3 apresenta a área de olival ocupada pelas modalidades intensiva e super-intensiva.

Tabela 2: Área de olival alocada por região consoante a finalidade de produção

NUTS 2001	Ano 2009					
	Total	Olival para Azeite			Olival para Azeitona de mesa	
	Área (ha)	Área (ha)	Quota Regional	Peso da Finalidade	Área (ha)	Quota regional
Portugal	335841	331751	100%	99%	4090	100%
Norte	76147	73405	22%	96%	2742	67%
Centro	61677	61422	19%	100%	255	6%
Lisboa e Vale do Tejo	25540	25479	8%	100%	61	1%
Alentejo	164078	163235	49%	99%	843	21%
Algarve	8399	8210	2%	98%	189	5%

Fonte: Recenseamento agrícola 2009 (<http://www.ine.pt>)

Tabela 3: Área de olival intensivo e supra-intensivo nas regiões de Portugal

Modalidade de Olival por região								
Regiões	Para azeitona de mesa		Para azeite					
			301-700 árv./ha		701-1500 árv./ha		Mais de 1500 árv./ha	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
Portugal	4090	100	17051	100	2812	100	11199	100
Continente	4090	100	17051	100	2812	100	11199	100
Entre Douro e Minho	2	0	0	0	0	0	0	0
Trás os Montes	2740	67	1321	8	188	7	55	0
Beira Litoral	11	0	1106	6	88	3	31	0
Beira Interior	244	6	1506	9	108	4	370	3
Ribatejo e Oeste	61	1	1263	7	258	9	209	2
Alentejo	843	21	11757	69	2169	77	10525	94
Algarve	189	5	99	1	1	0	0	0

Fonte: Adaptado do recenseamento agrícola 2009 (<http://www.ine.pt>)

2.3. O MERCADO DO AZEITE

O azeite tem vindo a constituir-se, cada vez mais, num produto alimentar de referência, não só nos países produtores da orla mediterrânica, mas atingindo crescente penetração em muitas outras regiões. É, contudo, uma gordura mais cara, quando comparada com outros óleos alimentares o que, em ambientes de crise pode constituir uma clara desvantagem. No total o azeite representa cerca de 4% do consumo mundial de óleos vegetais (EDIA, 2011).

A partir de meados da década de noventa assistiu-se a uma expansão mundial do sector do azeite tanto na produção como no consumo (figura1).



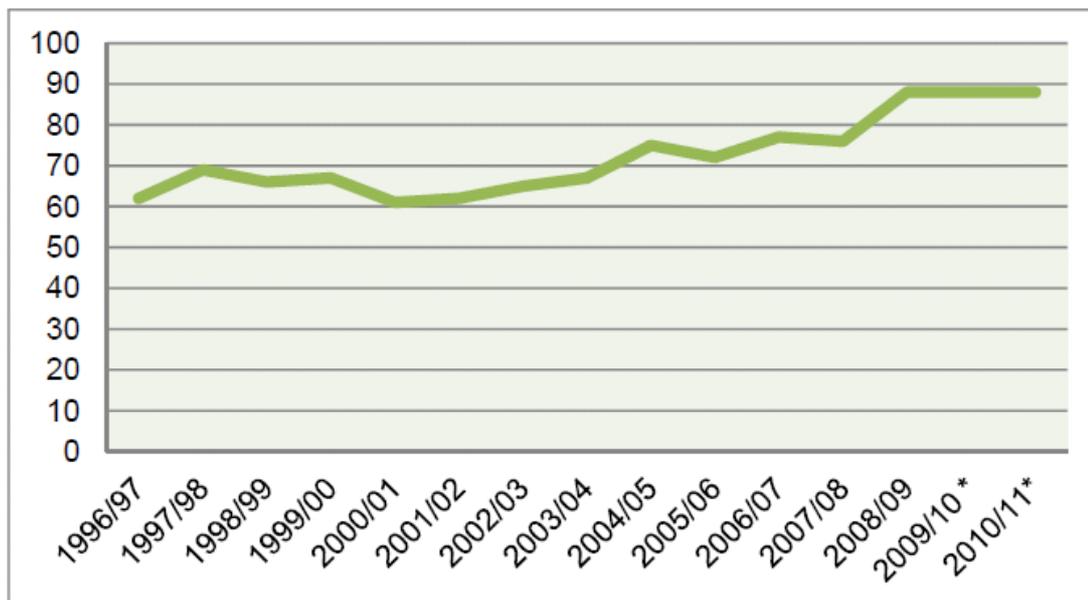
Figura 1: Evolução da Produção e do Consumo Mundial de Azeite

Fonte: EDIA, 2011.

Este aumento de consumo a nível mundial reflecte, quer o efeito da difusão dos resultados da investigação científica sobre os benefícios do azeite para a saúde, quer as sucessivas campanhas de divulgação e promoção do produto (EDIA, 2011).

2.3.1. Mercado Português

Em Portugal, verifica-se uma nítida recuperação do consumo de azeite comparativamente ao início da década de 90, em que o consumo *per capita* se situava em 3,3 kg/ano, atingindo actualmente um valor próximo dos 8,0 kg/ano *per capita* (fonte: Casa do Azeite). A este aumento de consumo não será seguramente alheia a “redescoberta” do azeite como produto natural, saudável e com inúmeros benefícios para a saúde humana (figura 2).



*Valores provisórios

Figura 2: Evolução do consumo do azeite em Portugal (%)

Fonte: EDIA, 2011

Ao nível da produção em Portugal, tem-se assistido nos últimos anos a uma clara recuperação da produção, após o acentuado decréscimo verificado sobretudo a partir da década de 60 até finais da década de 80, onde as produções passaram da ordem das 90.000 toneladas (anos 50) para valores médios de cerca de 35.000 toneladas, nos anos 80 (figura 3).

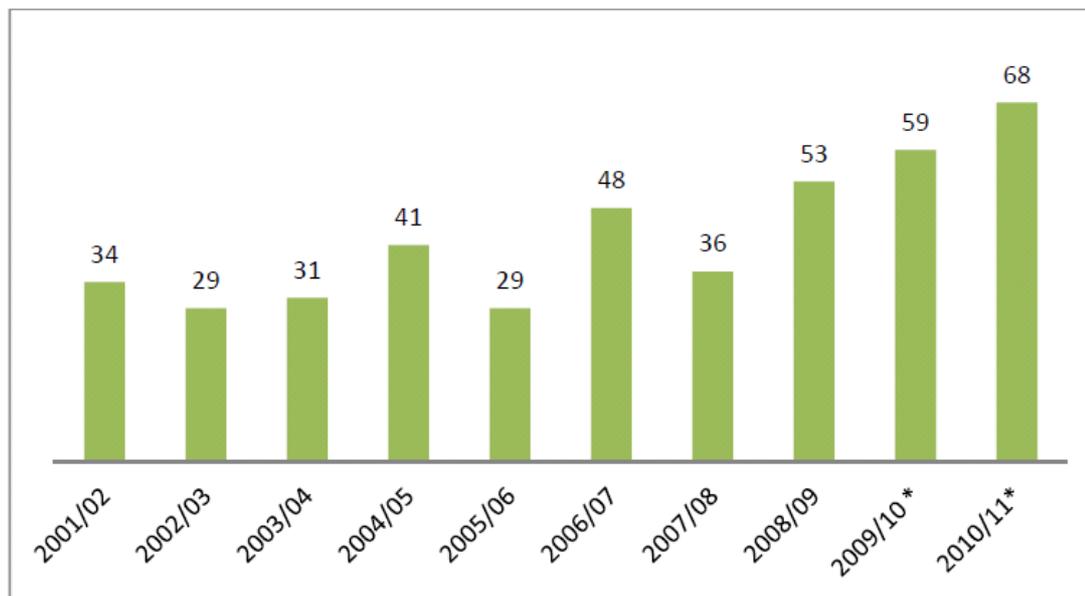


Figura 3: Evolução da produção de azeite em Portugal (1000 ton)

Fonte:EDIA, 2011

No entanto, as produções nacionais de azeite não têm acompanhado o consumo interno e as exportações, pelo que a diferença tem sido compensada com importações, maioritariamente (97%) de Espanha. O volume total de azeite correspondente ao mercado nacional – considerando apenas azeites embalados – é actualmente de aproximadamente 67 mil toneladas, distribuídas entre 42 mil toneladas para o mercado interno e 25 mil toneladas com destino à exportação (EDIA, 2011).

O enorme atraso da olivicultura em Portugal quando comparado com a evolução que se verificou em outros países produtores e principalmente em Espanha, haveria de resultar na estruturação de um Plano Nacional de Dinamização da Fileira Olivícola e, sobretudo, na especial concessão, pela Comissão Europeia, de apoios especiais, para a plantação em Portugal de 30.000 hectares de novos olivais passíveis de ajudas ao investimento entre os finais da década de noventa do século passado e até meados da primeira década do sec.XXI. Em termos de áreas, esta recuperação concentrou-se essencialmente no Alentejo e um pouco em Trás-os-Montes, as únicas duas regiões do país em que a área de olival cresceu. Em todas as restantes regiões diminuiu, não apenas a área mas igualmente o número de explorações com olival, entre 1999 e 2009 (EDIA, 2011).

Para além desta evolução quantitativa, a evolução tecnológica foi sendo difundida um pouco por todas as regiões, tendo sido introduzidos modernos sistemas produtivos, com muito maior densidade de plantação e mais rápida entrada em produção. Estes novos sistemas, quer o intensivo (250 a 350 árvores por hectare), quer o super-intensivo em sebe (próximos de 2000 árvores), beneficiam de sistemas de rega localizada, de novas técnicas de fertilização, de podas e de processos de colheita mecanizados, resultando em muito significativos acréscimos de produtividade, redução de custos unitários e, consequentemente, em ganhos na rentabilidade desta cultura (EDIA, 2011).

2.4. DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E RESPOSTA FISIOLÓGICA DA OLIVEIRA

O estado hídrico da planta é dependente não só do conteúdo de água no solo mas também da solicitação evaporativa da atmosfera e das características morfo-anatómicas e fisiológicas das plantas (Ortuño *et al.*, 2006 citados por Silva, 2008). Quando se planeiam programas de rega é imprescindível a informação sobre o estado hídrico da cultura, que pode ser obtida por indicadores fisiológicos ou indicadores físicos (Remorini e Massai, 2003 citados por Silva, 2008). Contudo, não existe um consenso geral na identificação do indicador mais fiável, dependendo da cultura em causa.

Apesar da sua questionável relevância no controlo dos processos fisiológicos, o potencial hídrico foliar (Ψ_F) é geralmente aceite como um indicador fisiológico directo do estado hídrico da planta (Turner, 1986 citado por Silva, 2008). A medição desta variável é fácil e rápida, utilizando-se para tal uma câmara de pressão (Scholander *et al.*, 1965 citados por Silva, 2008). Em termos diurnos, a variação do Ψ_F apresenta um valor máximo (menos negativo) antes do nascer do sol, potencial hídrico foliar de base (Ψ_B), e um mínimo ao meio-dia (Ψ_{MD}) (Silva, 2008).

Os trabalhos experimentais de Natali *et al.* (1985) em oliveiras jovens envasadas (cvs. “Moraiolo”, “Leccino” e “Frantoio”) revelaram que o Ψ_B era um indicador útil do conteúdo de água disponível no solo, sustentado pela boa correlação obtida entre estes dois parâmetros.

Os valores de Ψ_B referidos na literatura para a oliveira parecem variar bastante com as condições de humidade do solo, a cultivar e o ambiente agro ecológico. Na verdade, os resultados publicados indicam uma variação entre -0,46 e -0,8 MPa em condições de disponibilidade hídrica boa a moderada (Fernández *et al.* 1997; Mariscal *et al.*, 2000; Fernández *et al.*, 2003) e entre -3,0 e -7,0 MPa em condições de stresse hídrico moderado a severo (Xiloyannis *et al.*, 1999; Chartzoulakis *et al.*, 2000; Mariscal *et al.* 2000).

No estudo desenvolvido, em condições de campo, no Sul de Espanha com oliveiras adultas (cv. “Manzanilla”) submetidas a diferentes regimes de água, Fernández *et al.* (1997) obtiveram um valor médio do Ψ_B de -0,46 MPa para um valor de 0,4 de água extraível relativa (“RelativeWaterExtractable”, RWE), a partir do qual os valores do Ψ_B decresciam de forma progressiva com a diminuição da RWE. Estes autores assumiram que nesse caso e solo o valor de RWE igual a 0,4 é o limiar permissível para défice hídrico. Por outro lado, Tognetti *et al.* (2006) obtiveram uma relação exponencial negativa entre RWE e Ψ_B , indicando o desenvolvimento de défice hídrico no solo para valores de RWE próximos de 0,3 a que corresponde o Ψ_B -0,77 MPa.

Ao meio-dia, os valores do potencial hídrico foliar (Ψ_{MD}) são mais negativos mesmo nas árvores bem regadas se a solicitação evaporativa da atmosférica é elevada (Fernández *et al.*, 1993; Moreno *et al.*, 1996). Num estudo comparativo das relações hídricas em árvores de fruto (damasqueiro: *Prunusarmeniaca* L., macieira: *Malus domestica* Borkh, pessegueiro: *Prunuspersica* (L) Batsch, vinha: *Vitis vinífera* L. e oliveira) desenvolvido no Jordão em condições de campo, Larsen *et al.* (1989) verificaram que a oliveira foi a espécie que apresentou os menores valores de Ψ_{MD} (mais negativos).

À semelhança do Ψ_B também a gama de valores do Ψ_{MD} referenciados para a oliveira, em condições de campo, variam amplamente. Assim, para várias cultivares bem regadas os valores de Ψ_{MD} variam de -1,0 a -2,4 MPa enquanto que em condições de sequeiro a gama de valores encontrada variou de -3,4 a -8,0 MPa, dependendo da intensidade do défice hídrico (Fernández *et al.* 1997, Giorio *et al.* 1999; Moriana *et al.* 2002; Moriana *et al.* 2003).

Os potenciais medidos ao meio dia solar, em folhas à sombra e de ramos próximos do tronco e protegidas durante meia – hora dentro de um saco de papel (ou outra técnica

semelhante) antes de serem separadas do ramo e usadas para a medição do potencial (potencial do ramo), substituem os de madrugada, evitando-se os inconvenientes de medições antes do amanhecer (Goldhammer e Fereres, 2001).

2.5. UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PELA OLIVEIRA: TRANSPIRAÇÃO VERSUS EVAPORAÇÃO

A produtividade máxima de uma cultura está, entre outros factores (potencial genético, necessidades climáticas, sanidade, nutrição mineral) geralmente associada à manutenção de conforto hídrico, ou seja da sua evapotranspiração máxima (Doorenbos e Kassam, 1979). Nas condições climáticas da região Mediterrânica esta situação só é possível recorrendo à rega, já que os verões são secos e quentes. Neste contexto, a gestão racional da água com programas de rega requer uma quantificação precisa das necessidades hídricas das culturas (herbáceas ou lenhosas), que passa pelo conhecimento das componentes da evapotranspiração cultural (ET_c): transpiração da planta (E_p) e evaporação da superfície do solo (E_s). No caso do olival, estas componentes são difíceis de quantificar, uma vez que são influenciadas por factores heterogéneos tais como a idade das árvores, densidade de plantação e sistemas de rega (Testi *et al.* 2006).

2.5.1. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A perda de água de um coberto vegetal para a atmosfera, sob a forma de vapor, ou seja a evapotranspiração cultural (ET_c), tem duas componentes: a transpiração (E_p) das plantas e a evaporação directa de água do solo (E_s) (Silva, 2008). O facto de a oliveira ser uma planta perene de folhagem persistente, geralmente cultivada em áreas com escassa precipitação, a estimativa da ET_c dos olivais, nos quais existe uma ampla variação nas dimensões da copa das árvores (copado), é preferível ser fracionada nas suas componentes (Orgaz *et al.* 2006).

A estimativa da ET_c ($ET_c = E_{To} \times K_c$) é geralmente realizada recorrendo ao procedimento clássico da FAO, fazendo uso de coeficientes culturais (K_c), e ao cálculo da evapotranspiração de referência, E_{to} (Doorenbos e Pruitt, 1977, Allen *et al.*, 1998). A E_{to} é a evapotranspiração de uma cultura de referência, geralmente a relva, e pretende

reflectir o efeito das condições climáticas nas necessidades hídricas das plantas. Portanto, a ETo é uma variável climática, exprimindo o poder evaporativo da atmosfera, e pode ser calculada a partir de dados climáticos. O método da FAO Penman-Monteith é actualmente o mais recomendado para a determinação da ETo (Allen *et al.* 1998).

O coeficiente cultural (Kc) representa o efeito das características da cultura nas suas necessidades hídricas e é obtido experimentalmente. Contudo, esta abordagem apresenta algumas dificuldades de aplicação, dado que os coeficientes culturais podem não ser generalizáveis a todas as situações, uma vez que podem variar entre locais, e até mesmo entre anos, dependendo da precipitação e da temperatura (Villalobos *et al.* 2000).

Existem algumas diferenças fundamentais entre o Kc de culturas herbáceas e o das arbóreas. No primeiro caso, o Kc varia somente em termos sazonais, a sua variação está associada a estados fenológicos facilmente identificáveis. O Kc em árvores caducifólias, onde se inclui o olival, também varia sazonalmente, mas é afectado por factores adicionais tais como a arquitectura do copado, densidade de plantação, prática da poda, carga da árvore, método de rega e das práticas de manutenção da superfície do solo (Feres e Goldammer, 1990 citados por Orgaz *et al.*, 2006). Uma característica curiosa do olival, em contraste com as culturas herbáceas, é que a curva anual do Kc do olival apresenta um padrão de comportamento “invertido”, com forma de U, como mostra a figura 4, adaptada de Testi *et al.*, (2005), que apresenta a variação anual dos valores mensais do coeficiente cultural (Kc) para um olival em Córdoba (Espanha) e em Fresno (Califórnia), com precipitação anual da ordem de 592 mm e 306 mm, respectivamente, diferente da curva típica do Kc em culturas herbáceas, em que não é invertida.

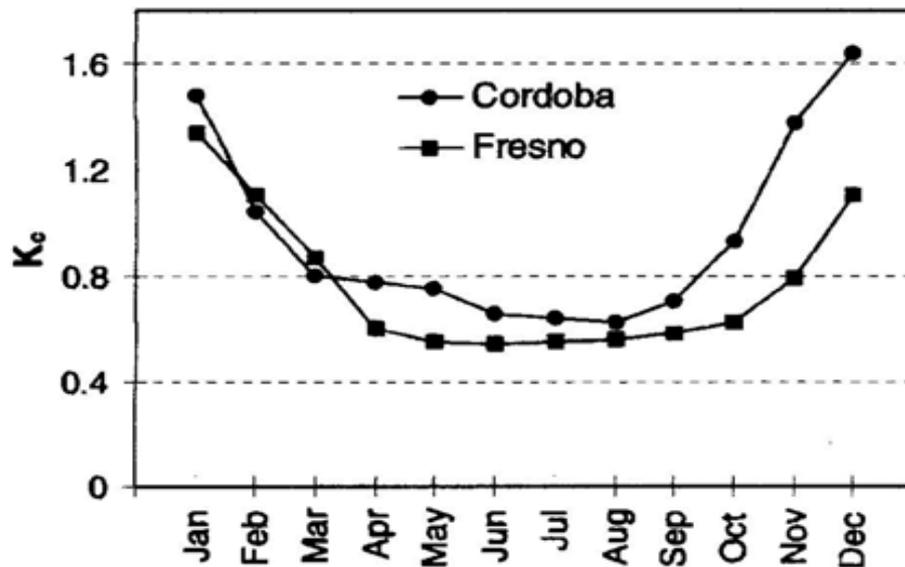


Figura 4: Curva de Kc para um Olival em Córdoba (Espanha) e Fresno (Califórnia)
 Fonte: adaptada de Testi *et al.*, (2005)

Este comportamento pode ser explicado devido à combinação dos efeitos de vários factores, nomeadamente o regime sazonal da precipitação na região Mediterrânica, a cobertura incompleta da superfície do solo e pelo facto de a oliveira apresentar folhagem persistente (Testi *et al.* 2006).

Ramos e Santos (2009) obtiveram o mesmo padrão invertido num ensaio para o olival tradicional na região de Moura (*var.* Cordovil) recentemente submetido à rega. O seguinte gráfico apresenta a relação entre a transpiração (T) e ETo obtida desse ensaio de rega conduzido na Herdade dos Lameirões, em Safara, onde o tratamento A foi de rega plena, em que se aplicou bastante água de rega, da ordem dos 800 mm, o tratamento B foi de rega deficitária sustentável, com aproximadamente 60% da água aplicada no tratamento A, o tratamento C, de rega deficitária controlada, em que se regou apenas em alguns períodos considerados críticos e tratamento D, de sequeiro, sem rega e com as árvores usando apenas a água das chuvas, armazenada no perfil do solo durante o outono – inverno.

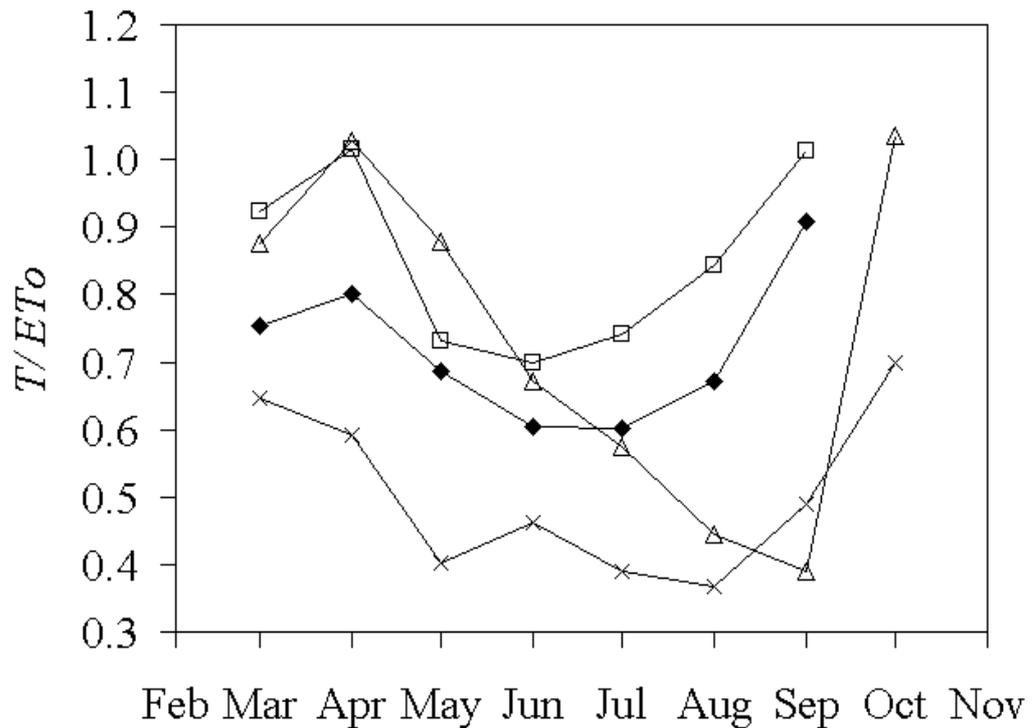


Figura 5: Relação T/ETo para diferentes tratamentos de rega (Ramos e Santos, 2009). (◆) – Tratamento A, de rega plena, (□) – Tratamento B de rega deficitária sustentável, (△) - Tratamento C de rega deficitária controlada, (X) – Tratamento D, de sequeiro.

Uma análise cuidadosa desses dados de T/ETo indicou que a relação T/ETo foi mais elevada nos meses de Março e Abril, reduzindo-se progressivamente durante o verão, para voltar a aumentar a partir de Setembro. Também se observa que esses valores não foram mais elevados no tratamento A do que em B, facto curioso e de grande importância na gestão da rega do olival. Por mais água que se aplique ao olival (como no tratamento A), esta espécie não respondeu com maiores incrementos de transpiração, havendo um óptimo de água que é preciso atingir, e que neste caso se apresenta próximo da água aplicada ao tratamento B. Daí o sucesso da rega dita deficitária. Curioso foi também de notar que o valor de T/ETo aumentou substancialmente a partir de Setembro, devido às primeiras chuvas de outono, facto que é crucial para a manutenção do olival de sequeiro. Em anos de pouca disponibilidade de água para a rega, deve-se reduzir a aplicação de água durante o verão e aplicar essa água nos meses de Setembro e Outubro, caso haja

falta de chuva (como aconteceu em 2011, p.ex.). Este facto não é de todo inédito no Alentejo e há que regar nessas alturas.

Por outro lado, existe um consenso geral de que para o olival é de extrema importância a quantificação em separado das componentes da ETc, uma vez que a superfície do solo descoberta constitui uma fração importante do sistema, e a evaporação do solo (Es) pode ser da mesma ordem de grandeza que a transpiração (Ep), quando o solo é molhado com frequência, mesmo com elevado índice de área foliar e densidade de plantação (Villalobos *et al.*, 2000). Assim sendo, a medição de cada uma das componentes da ETc, ou seja, a transpiração e a evaporação da superfície do solo, afigura-se de extrema importância na modelação da ETc do olival.

2.5.1.1. DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO APARTIR DO MÉTODO DO BALANÇO DE ÁGUA NO SOLO

A precipitação ou a água da rega que atinge uma unidade de área da superfície do solo (mm) pode-se infiltrar ou deixar a área, em forma de escoamento superficial. A água infiltrada pode evaporar directamente da superfície do solo, ser absorvida pelas plantas para o crescimento ou transpiração, drenar para baixo da zona radicular como drenagem profunda ou acumular-se na zona radicular. O método do balanço hídrico é baseado na conservação de massa, em que mudanças no conteúdo de água do solo da zona radicular das plantas iguala a diferença entre a quantidade de água adicionada na zona radicular, Q_i , e a quantidade de água que daí sai, Q_o num dado intervalo de tempo (Hillel, 2004), expresso pela equação 1,

$$\Delta S = Q_i - Q_o \quad (1)$$

que pode ser usada para determinar a evapotranspiração duma dada cultura, como se segue na equação 2,

$$ET_c = P + I + U - R - D - \Delta S, \quad (2)$$

onde ΔS é a variação do armazenamento de água no solo, P é a precipitação, I é a rega, U é a ascensão capilar para a zona radicular, R é o escoamento superficial, D é percolação profunda, ET_c é a evapotranspiração cultural.

De maneira a usar a equação 2 para determinar a evapotranspiração (ET_c), os outros parâmetros devem ser medidos ou estimados. É relativamente fácil medir a quantidade de água adicionada ao solo pela chuva ou rega. Nos campos agrícolas a quantidade de água do escoamento superficial é geralmente pequena pelo que é desprezada. Quando o nível freático está distante da superfície do solo, a ascensão capilar é também desprezada. O parâmetro mais difícil de medir e avaliar correctamente é a percolação profunda (D). Contudo se o potencial da água no solo e o conteúdo de humidade é monitorado, os valores de D podem ser estimados usando o princípio de Darcy (Zeleeke e Wade, 2012).

Quando se trata de rega gota-a-gota, os parâmetros U , R e D são normalmente desprezados nos cálculos de estimativa da evapotranspiração pelo método do balanço de água do solo.

A principal desvantagem do método do balanço hídrico é que o erro na estimativa dos diferentes termos é acumulado nos valores obtidos de ET_c , o que o torna não muito preciso. Outro constrangimento é a variação espacial na humidade do solo, especialmente na rega gota-a-gota, onde a tridimensionalidade é um problema adicional (Petillo e Castel, 2007).

Por outro lado, como esta metodologia requer a monitorização do todo o perfil explorado pelo sistema radicular, a sua utilização reveste-se em muitos casos de grande dificuldade não só devido às limitações práticas da instalação dos equipamentos de medição em profundidade, como também, e não menos importante, devido à não homogeneidade da distribuição das raízes no solo que se verifica muitas vezes associado ao tipo de rega usado (Rodrigues, 2011).

Morgan (1992), citado por Petillo e Castel (2007), sugere que como o escoamento superficial e a percolação são difíceis de determinar, a evapotranspiração deve

sercalculada apenas nos períodos de precipitação relativamente baixa, evitando-se os erros cometidos pelo desconhecimento do escoamento e da percolação profunda que advêm da precipitação mais intensa.

Vachaud *et al.* (1985) citado por Petillo e Castel (2007), advogam que o método do balanço hídrico não é apropriado para estimar a ET_c, quando existe precipitação suficiente para produzir escoamento superficial.

A precisão das estimativas da ET_c depende de vários factores, tais como o método de medição ou de estimativa da drenagem, a densidade dos sítios usados para medir o conteúdo de água do solo, ou a frequência das medições (diárias, semanais, mensais) (Petillo e Castel 2007). Por estas limitações, ultimamente tem-se usado ou métodos mais directos, entre os quais o método do fluxo de seiva, com sensores implantados nos troncos ou ramos das árvores, para estimar a transpiração das culturas, usando-se um método independentemente para estimar os valores de evaporação do solo.

2.5.2. DETERMINAÇÃO DO K_c USANDO O MÉTODO DE TESTI

Existem diferenças claras entre o K_c de culturas herbáceas e das culturas arbóreas. Nas primeiras o K_c varia sazonalmente devido aos seus estágios fenológicos facilmente detectáveis e que se encontram bem definidos os valores iniciais, máximos e finais (Testi *et al.*, 2006).

O K_c das espécies caducifólias também varia sazonalmente, contudo é afectado por factores adicionais tais como arquitectura da canópia, densidade de árvores, práticas culturais, carga da planta, método de rega e gestão da superfície do solo (Fereris e Goldhamer, 1990 citado por Testi *et al.*, 2006). Além disso, mesmo em pomares intensivos (como é o caso de olivais super-intensivos) nunca a cobertura do terreno é total, como acontece com a produção de hortícolas, de modo que o K_c é influenciado pela cobertura descontínua do solo e pela distribuição heterogénea da humidade do solo. Um

Kc máximo ou de cobertura total, enquanto útil nas culturas herbáceas, nos pomares não é um número preciso nem único (Testi *et. al.*, 2006).

Os olivais partilham as complexidades na determinação do Kc com outras culturas arbóreas, mas com algumas dificuldades adicionais, pois a oliveira é uma espécie de folha persistente, o que a torna activa todo o ano. Destemodo, requer uma rega mais prolongada em relação as espécies caducifólias, especialmente após invernos secos. Adicionalmente, a olivicultura vem experimentando mudanças estruturais, com a existência de mosaicos heterogéneos de olivais com uma larga gama de coberturas do solo (do olival tradicional, com cerca de 90 árvores por hectare, passando pelos intensivos, de 300 árvores e culminando com os super-intensivos, que podem chegar às 2000 árvores por hectare), pomares com idades variáveis e enfrenta restrições locais no uso da água para rega, e variações na gestão e disponibilidade de água l (Testi, *et. al.* 2006).

A informação sobre a utilização da água pelas culturas arbóreas é escassa, e é mais escassa para a oliveira porque a prática da rega apesar da sua presente popularidade, apresenta uma história curta nesta espécie. A informação disponível é derivada de estimativas brutas de evapotranspiração sazonal ou por medidas de evapotranspiração levadas a cabo em curtos períodos de tempo (Orgaz e Fereres 1999 citados por Testi *et. al.* 2006). Goldhamer *et. al.* (1994) citados por Testi *et al.*(2006) usaram taxas variáveis de rega combinadas com medições do estado hídrico das plantas e concluíram por inferência que o Kc sazonal de um olival adulto em Madera – California estaria entre 0,65 e 0,75. Allen *et al.* (1998) citados por Testi *et al.* (2006) recomendam que para olivais maduros com 40% - 60 % de cobertura do solo o valor de Kc inicial seja de 0,65 e de 0,75 para o resto do ano.

Fereres e Goldhamer (1990) citado por Testi *et al.* (2006) obtiveram uma relação empírica entre a percentagem de cobertura de solo e a percentagem de evapotranspiração de pomares adultos de amêndoas, medidos na California. Contudo não se sabe se essas relações se aplicam a outras culturas ou climas. Em todos os casos de baixa cobertura do solo pela canópia o Kc é fortemente afectado pelas condições que influenciam a

evapotranspiração da superfície do solo (Ritchie, 1972; Villalobos *et al.*, 2000 citados por Testi *et al.*, 2006).

Testi *et al.* (2006) propuseram uma simples relação linear entre a cobertura do solo da oliveira (e o índice de área foliar) e o Kc médio dos meses de verão, válida para frações de cobertura de solo de 0,25, juntamente com as suas variações quando manchas da superfície do solo estão presentes. No entanto, esta relação não se aplica num cenário de verões sem chuva e em que a contribuição para a evaporação do solo (Es) através do sistema de gotejadores dependa da área da superfície e da localização das manchas molhadas e não é mensurável.

Segundo Testi *et al.* (2006), a evapotranspiração de um olival sob rega localizada apresenta 4 componentes básicos: (a) transpiração da árvore (Ep), função das dimensões do copado e da altura do ano; (b) evaporação directa da folhagem (Epd) aquando da intercepção da precipitação, e que é função da cobertura do solo e da frequência com que o copado é molhado; (c) evaporação de toda a superfície do solo (Es), a qual é função fundamentalmente do período médio que a superfície do solo total do olival é molhada e do sombreamento do copado e (d) evaporação das áreas directamente molhadas pelos gotejadores (Ews), a qual depende da fracção de solo humedecida e da frequência da rega. Variação em cada componente leva a um número tão elevado de casos que não podem ser quantificados sem a assistência de um modelo de simulação.

Deste modo Testi *et al.* (2006) propuseram um método para o cálculo do Kc (equação 3) mensal do olival, calculando cada componente mencionada acima, e integrando-as no final.

$$Kc = \frac{ET}{ETO} = \frac{EP + Epd + Es + Esw}{ETO} \quad (3)$$

Separando cada componente fica (Equação 4):

$$Kc = \frac{EP}{ETO} + \frac{Epd}{ETO} + \frac{Es}{ETO} + \frac{Ews}{ETO} = Kp + Kpd + Ks1(1 - Fw) + Ks2(fw) \quad (4)$$

onde:

Kp é o coeficiente de transpiração

K_{pd} é o coeficiente de evaporação a partir da superfície da copa

K_{s1} é o coeficiente de evaporação do solo

K_{s2} é o coeficiente de evaporação do solo humedecido pelos gotejadores

f_w é a fracção de solo molhado pelos gotejadores

2.5.3. TRANSPIRAÇÃO

A dinâmica do uso da água na oliveira pode ser avaliada através da medição do fluxo de seiva no tronco, nos ramos ou nas raízes de plantas individuais no seu ambiente natural. Os métodos de fluxo de seiva fornecem medições directas e contínuas do uso da água a uma escala temporal de elevada resolução (Smith e Allen, 1996). Este tipo de informação é essencial para um melhor controlo dos sistemas de rega de alta frequência frequentemente utilizados no olival. Os métodos mais utilizados para a medição do fluxo de seiva baseiam-se no transporte de calor pela seiva, e podem agrupar-se em três categorias: método da dissipação de calor vulgarmente conhecido pelo método de *Granier*; o método do balanço de calor no tronco (SHB, *StemHeat Balance*), e o método da velocidade de impulso de calor (HPV, *Heat Pulse Velocity*).

2.6. ORIGEM E ANTECEDENTES DO MÉTODO DO IMPULSO DE CALOR (COMPENSATION HEAT-PULSE)

A técnica de medição do fluxo de seiva através do rastreio de calor utilizando sensores de temperatura (termopares), foi inicialmente concebida por Huber (1932) e posteriormente aperfeiçoada para separar o efeito da convecção pelo movimento da seiva no tronco e o transporte de calor por condução térmica (Green, 1998).

Como consequência deste aperfeiçoamento, Huber e Schimdt (1937) desenvolveram uma versão inicial do método utilizando sondas com sensores de temperatura colocadas a montante e a jusante de uma sonda de aquecimento que permitia a compensação do efeito da condução térmica (Green, 1998).

Neste método, os sensores de temperatura e o aquecimento eram aplicados externamente no tronco e assumia-se que a velocidade da seiva era idêntica à velocidade com que o impulso de calor utilizado no rastreio percorria o tronco.

Mais tarde Marshall (1958) desenvolveu uma fundamentação teórica para a técnica de impulso de calor e mostrou que a assunção de Huber não estava bem fundamentada. Demonstrou que a velocidade da seiva não era a mesma que a do impulso de calor, tendo demonstrado que a mesma é igual à média ponderada da velocidade de circulação da seiva e da textura da madeira, sendo o factor de ponderação dependente das propriedades físicas relativas à textura da madeira do tronco. Para além disso, Marshall também propôs uma nova forma de instalar as sondas utilizando um elemento de aquecimento linear e sondas de temperatura inseridos radialmente no tronco, de modo a que a temperatura fosse medida num ponto suficientemente profundo para evitar as perdas de calor para o exterior, que tinham reduzido a eficácia do método de Huber. Através deste método é possível calcular o aumento de temperatura gerada em qualquer ponto do xilema após a aplicação momentânea de calor através de um elemento de aquecimento disposto linearmente no interior do tronco. Deste modo a contribuição de Marshall foi um importante primeiro passo no estabelecimento de uma base teórica para o método de impulso de calor (Green, 1998).

As soluções analíticas propostas por Marshall foram utilizadas posteriormente por Swanson (1962) que as aplicou à análise do método CHP (Compensation Heat Pulse) no qual duas sondas de temperatura são colocadas assimetricamente a montante e a jusante de uma sonda linear de aquecimento. Swanson demonstrou que a velocidade de um impulso de calor emitido momentaneamente no tronco pode ser calculada através do aumento de temperatura medido em duas distâncias fixas a montante e a jusante do emissor de calor (Green, 1998).

2.6.1. ESTIMATIVA DA TRANSPIRAÇÃO DA OLIVEIRA USANDO O MÉTODO DO IMPULSO DE CALOR (COMPENSATION HEAT-PULSE)

A rega é considerada importante para o desenvolvimento futuro da azeitona na região do mediterrâneo (Fernandez e Moreno, 1999 citado por Fernandez *et al.*, 2001), por isso é imperativo tanto no mediterrâneo como em outros lugares que a água da rega seja usada com discernimento e sem desperdícios (Fernandez *et. al.*, 2001). Para que isto seja conseguido é necessário que as necessidades de água reais da oliveira sejam conhecidas (Fernandez *et. al.*, 2001). Sabendo-se a transpiração da planta, chega-se facilmente à quantidade líquida de água que a planta necessita, ou que perde diariamente.

O método geralmente utilizado para a determinação da transpiração de uma árvore consiste no uso do lisímetro de campo. Um lisímetro consiste num dispositivo instalado ao nível do solo com dimensões suficientemente grandes para conter uma ou mais árvores e a quantidade de solo suficiente para permitir que estas se desenvolvam no seu interior. Este dispositivo é instalado sobre uma balança de grandes dimensões (normalmente enterrado) e é coberto o solo, de modo a não permitir que ocorra evaporação a partir da superfície do solo. Deste modo, a transpiração num dado intervalo de tempo pode ser estimada a partir da variação de massa de água medida na balança. A aplicação deste método em culturas de grande porte tem vários inconvenientes: a) tem custos elevados a instalação deste dispositivo de grande porte, b) o vento dificulta as medidas, e c) a árvore tende a desenvolver-se menos no interior do dispositivo que no solo, não sendo sempre possível extrapolar as conclusões para o conjunto de árvores em estudo fora do dispositivo (lisímetro de campo) (Fernández *et al.*, 1998 citado por Valverde, 2005).

Como alternativas, actualmente existem outras técnicas para medir a transpiração de uma árvore, sendo uma delas, a que consiste em utilizar a árvore como biosensor, medindo-se a quantidade de seiva que circula pelo tronco como consequência da transferência de água entre o solo e a atmosfera promovida pelo processo de transpiração da árvore. A medição é feita de forma automática e em tempo real, recorrendo a sondas que se instalam radialmente no interior do tronco na zona onde a seiva circula no sentido ascendente (Green *et al.*, 2003, Valverde, 2005). Outros métodos existem que usam a

planta como biossensor (Valverde, 2005), como por exemplo as flutuações no diâmetro dos troncos.

Esta técnica de fluxo de seiva consiste em determinar a velocidade do fluxo de seiva no tronco de uma árvore, por aplicação momentânea de um impulso de calor na zona do tronco (daí denominar-se também método de impulso de calor) onde existe movimento de seiva no sentido ascendente (xilema), sendo o calor rastreado por sensores de temperatura (termopares) inseridos a vários níveis no interior das sondas inseridas nos troncos.

A determinação da transpiração das árvores pela medição do fluxo de seiva nos troncos das árvores com esta técnica justifica-se por esta poder ser utilizada com o mínimo de perturbações à circulação da seiva (Swanson e Whitfield, 1981; Green *et. al.*, 2000 citados por Valverde, 2005) e as medições serem fiáveis e permitirem obter uma boa resolução temporal nos dados do fluxo de seiva, sendo facilmente adaptáveis à aquisição e armazenamento automático de dados com a medição simultânea do fluxo de seiva em várias árvores durante longos períodos de tempo (Green *et. al.*, 2003).

O fluxo de seiva que percorre o tronco da árvore corresponde à transpiração da mesma. Este facto é análogo ao princípio físico de conservação da massa, dado que a água que a árvore extrai do solo e que é conduzida para a atmosfera através do processo de transpiração tem obrigatoriamente que percorrer o tronco, logo, uma vez estabelecida uma forma de determinar com precisão o fluxo de seiva que a percorre, obtém-se a transpiração da árvore (Valverde, 2005).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO

O ensaio foi realizado em dois locais (herdades), ambos situados no Alentejo, um que pratica a plantação do olival em regime intensivo (herdade do Álamo de Cima) e o outro que pratica o regime super-intensivo (herdade dos Olivais do Sul), ambos usando o sistema de rega gota-a-gota para rega dos olivais. A distância entre os gotejadores no Álamo de cima é de 1 metro ao longo das rampas de rega (tubos de rega) e nos Olivais do sul é de 0,75 metros.

Em cada herdade foi instalado um ensaio com 2 tratamentos de rega, designados aqui por FI, rega do agricultor e DI, rega a testar, escolhendo-se 3 linhas de cultura por cada tratamento, em que a diferença entre eles cingia-se na quantidade de água fornecida. Em cada tratamento escolheram – se 3 árvores para a instalação das sondas de fluxo de seiva. Os dados que caracterizam o ensaio encontram-se natabela 4. A herdade Olivais do Sul pratica a rega usando gotejadores com débitos de 2,3 L/h, enquanto que a do Álamo de Cima pratica a rega usando débitos de 1,6 L/h. Nas duas herdades e em ambos tratamentos de rega, tanto a calendarização como os tempos de rega praticados são da responsabilidade do agricultor, sendo a diferença nas dotações exclusivamente obtida pelos diferentes débitos dos gotejadores instalados. Assim com a calendarização e os tempos de rega sob a responsabilidade do agricultor, optou-se pela substituição de rampas com diferentes gotejadores para se obter as dotações praticadas nas modalidades a testar.

Em cada uma das herdades e olivais foram instaladas sondas de humidade até os 60 cm de profundidade (não se instalaram em maior profundidade por se ter atingido a rocha mãe), para se determinar o armazenamento (S), a variação do armazenamento (ΔS), a fração da água total (FTSW) e por fim chegar-se a valores de evapotranspiração (ETc) do olival. As leituras de humidade do solo foram feitas aos 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm e 60 cm de profundidade, com sondas de humidade Trime.

No dia 25 de outubro foi feita a colheita das azeitonas e relacionou – se o rendimento com a transpiração das plantas e com a água de rega aplicada durante o ciclo de produção.

Tabela 4: Dados do ensaio

	Herdade Álamo de Cima		Herdade Olivais do Sul	
	FI	DI	FI	DI
Compasso (m x m)	4,2x8		1,35x3,75	
Diâmetro da copa (m)	3,44	3,65	1,4	1,26
Altura da copa (m)	3,03	3,02	3,39	3,19
Densidade de plantação (árvores/ha)	298		1975	
Fração de solo molhado/gotejador (fw)	0,0756		0,295	
Área de projeção da copa (m ²)	9,3	10,44	1,54	1,25
Água total aplicada pela rega (mm) e débito dos gotejadores (L/h)	202 (1,6)	254 (2,3)	305 (2,3)	256 (1,6)
Distância entre gotejadores (m)	1		0,75	
Nº de gotejadores/árvore	4		2	

3.1.1. HERDADE DOS ÁLAMO DE CIMA

O presente estudo foi realizado na região de Évora (Alentejo, Portugal) e na herdade do Álamo de Cima, num olival intensivo de 298 árvores/ha (*Olea europaea* L, var Cobrançosa) com as árvores dispostas no sentido Noroeste-Sudeste e num compasso de 4,2 m na linha por 8 m na entrelinha. Pertencente à empresa Fundação Eugénio de Almeida (38,49849 S, 7,752356 O), o olival foi submetido a dois regimes de rega: regime FI, em que se aplicou água de rega através de gotejadores de 1,6L/he espaçados de 1 metro, com dotações (calendarização e tempos de rega) sob a responsabilidade da empresa (agricultor) e outro regime DI, a testar, em que em 3 filas de árvores, se aplicou água de rega através de gotejadores debitando 2,3 L/h (calendarização e tempos de rega também sob a responsabilidade do agricultor). Procedeu-se do seguinte modo: iniciou-se

as regas nas duas modalidades com rampas de rega providos de gotejadores debitando 1,6 L/h (FI) e outras debitando 2,3 L/h (DI). A partir do endurecimento do caroço dos frutos, a 20 de julho, na modalidade DI substituíram - seessas rampas de rega por rampas com gotejadores debitando 1,6 L/h, regando-se deste modo até 7 de Setembro, quando se voltou a substituí - las por rampas com gotejadores debitando 2,3 L/h até à colheita, em outubro. Nenhuma modificação foi efectuada na modalidade FI, que esteve sempre com gotejadores de 1,6 L/h durante todo o tempo do ensaio. Pretendeu - se neste caso induzir défice hídrico no tratamento DI entre o endurecimento do caroço e a altura em que a planta deve ser bem abastecida de água, em setembro. De notar que durante todo o período do ensaio, a calendarização e os tempos de rega nas duas modalidades de rega foram idênticas, tendo variado apenas as dotações de rega praticadas.

3.1.2. HERDADE DOS OLIVAIS DO SUL

Situada na região de Évora (Alentejo, Portugal) perto do Monte do Trigo na herdade Olivais do Sul, num olival super-intensivo de 1975 árvores (*Olea europaea* L. Var Arbequina) num compasso de 1,35 m na linha por 3,75 m na entrelinha. Pertencente à empresa Olivais do Sul (38,41306 S, 7,727322 O), o olival foi submetido de 6 de Maio a 6 de Outubro de 2011 a dois regimes de rega: regime FI, em que se aplicou água de rega através de rampas com gotejadores de débito 2,3 L/h e espaçados de 0,75 metros, com dotações (calendarização e tempos de rega – anexo 1 e 2) sob a responsabilidade da empresa (agricultor) e outro regime, deficitário (DI), em que, a partir do endurecimento do caroço dos frutos a 14 de Julho e em 3 filas de árvores, se substituíram as rampas de rega com gotejadores de 2,3 L/h por rampas com gotejadores debitando 1,6 L/h, regando-se deste modo até à colheita, em outubro. Nesta herdade procedeu-se do seguinte modo: iniciou-se as regas nas duas modalidades com rampas de rega com gotejadores de 2,3 L/h. A partir do endurecimento do caroço dos frutos, a 14 de julho, na modalidade DI substituíram - seessas rampas de rega por rampas com gotejadores debitando 1,6 L/h, regando-se deste modo até colheita, em outubro. Nenhuma modificação foi efectuada na modalidade FI, que esteve sempre com gotejadores de 2,3 L/h durante todo o tempo do ensaio. Pretendeu - se neste caso induzir défice hídrico no tratamento DI entre o

endurecimento do caroço e a colheita. De notar que durante todo o período do ensaio, a calendarização e os tempos de rega nas duas modalidades de rega foram idênticas, tendo variado apenas as dotações de rega praticadas.

3.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA DA ZONA DO ENSAIO

A precipitação média anual do Alentejo é geralmente de 550-650 mm, à excepção das regiões de Borba (750-850 mm) e Portalegre onde os valores são ligeiramente superiores (900-1000 mm), concentrando - se sobretudo nos meses de Inverno. A temperatura média anual é em geral de 15,5-16°C., sendo a média das máximas absolutas de 20,5-21°C. (máxima absoluta 42,1°C.), e a média das mínimas absolutas de 11-11,5°C. (mínima absoluta -5°C.) (<http://www.ementadeportugal.com/vinho-regioes-alentejo.php>). Origina-se assim um clima seco, sujeito a fortes geadas, sendo o inverno frio e o verão muito quente (Mindões, s/d).

Em relação aos locais do ensaio os dados climáticos foram obtidos da estação climatológica automática situada na herdade dos Álamos de Cima, e os mesmos foram também usados para análises feitas na herdade -Olivais do Sul, pois as duas herdades situam-se próximas uma da outra. A precipitação anual registada no período de rega (2011 foi de 269,4 mm, enquanto que a temperatura média no mesmo período foi de 15,84 °C sendo a média das máximas absoluta de 29,71°C e a média das mínimas absoluta de 4.19°C. O seguinte gráfico mostra a evolução do défice de pressão de vapor (DPV = es-ea) e da radiação líquida (Rn) no local, sendo a radiação líquida avaliada por um sensor colocado no topo das árvores do ensaio. Estes dois últimos (DPV e Rn) são factores que comandam a evapotranspiração, principalmente na região Mediterrânica, de acordo com a seguinte equação de Penman – Monteith (Allen *et al.*, 1998). Valores elevados de Rn e de DPV durante os meses de verão deixam antecipar elevados valores de evapotranspiração esperados para o local e ano de ensaio, o que se veio a verificar.

$$ET_o = 0,408 * s * (Rn - G) + \frac{\gamma * 900 * U_2 * (e_s - e_a)}{s + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (5)$$

onde:

E_{To} é a evapotranspiração de referência

R_n é a radiação líquida total diária ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

$\gamma = 0,063 \text{ KPa}^\circ\text{C}^{-1}$ é a constante psicrométrica;

T é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);

U_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (ms^{-1});

e_s é a pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a é a pressão parcial de vapor (KPa);

s é a declive da curva de pressão de vapor na temperatura do ar, em $\text{KPa}^\circ\text{C}^{-1}$.

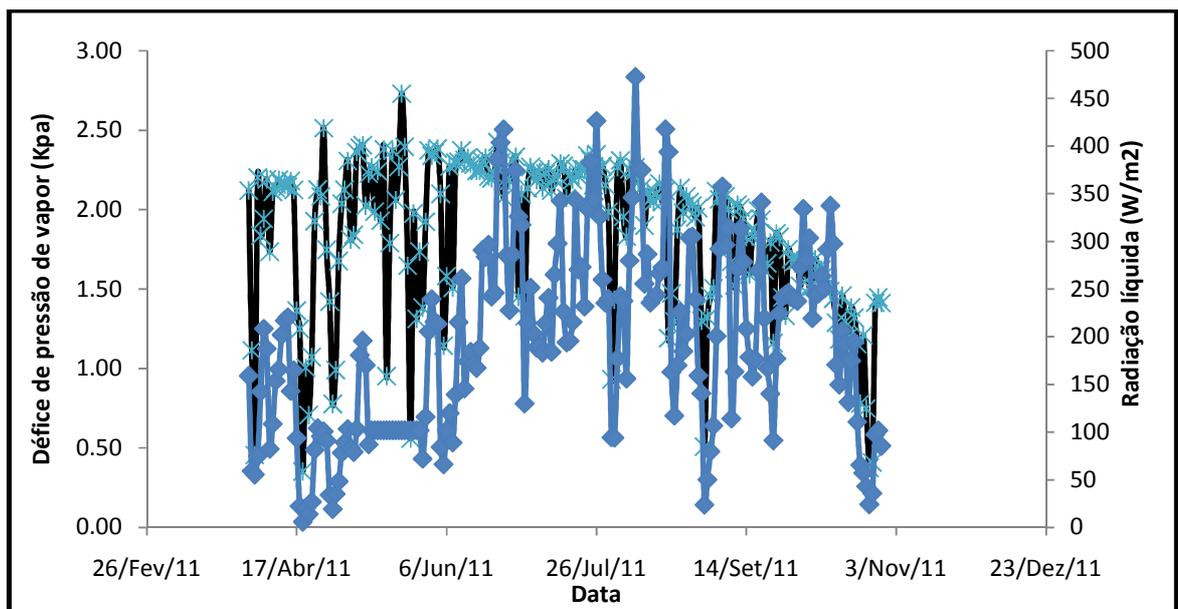


Gráfico 1: Evolução do déficit de pressão de vapor (◆) e da radiação líquida (X) ao longo do período de rega

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

3.3.1. HERDADE DO ÁLAMO DE CIMA

Os solos da herdade Álamo de Cima quanto à textura apresentam com maior predominância as frações de areia grossa e argila nas camadas de 0 – 15 cm e de 15 – 40 cm de respectivamente 31,8 e 32,3 %, seguindo - se as frações de areia fina e limo. Nas camadas de 40 – 65 cm e de 65 – 90 cm a fração predominante é a da areia grossa (47,8 e 48,7 %, respectivamente), seguindo – se a argila, a areia fina e por fim o limo (ver anexo 3).

Os valores de humidade do solo a diferentes valores de pF incluindo a capacidade de campo e o ponto de emurchecimento permanente, assim como a densidade aparente estão também apresentados no anexo 3.

3.3.2. HERDADE DOS OLIVAIS DO SUL

Na herdade Olivais do Sul foram analisados dois perfis de solo denominados P186 e P187 em relação a teores de água a diferentes sucções ou pressões, designadas por pF 's, massa volúmica aparente (Mva) e condutividade hidráulica saturada (Ks), como ilustra a tabela 5.

Tabela 5: Teores de água retida (valores médios observados) a diferentes pF (sucções e pressões), massa volúmica aparente (Mva) e condutividade hidráulica saturada (Ks) obtidos em amostras no estado natural de 2 perfis de solo (P186 e P187). (Agradece-se ao Eng.º José Casimiro Martins e a equipa do Departamento de Solos da ex-Estação Agronómica Nacional (Oeiras) o fornecimento destes dados, bem como os apresentados na no anexo 3).

*pF 0,0 corresponde à porosidade total

Perfil	P186		P187	
Profundidade (cm)	0-20	20-35	0-20	20-32
pF	(cm ³ cm ⁻³)			
0,0*	0,4350	0,3650	0,4250	0,3700
0,4	0,4238	0,3548	0,4106	0,3539
1,0	0,3969	0,3337	0,3861	0,3301
1,5	0,3466	0,3181	0,3340	0,3114
1,8	0,3060	0,2994	0,2987	0,2974
2,0	0,2776	0,2849	0,2774	0,2871
2,5	0,2194	0,2469	0,2357	0,2390
3,0	0,1749	0,2080	0,2025	0,1873
3,4	0,1500	0,1796	0,1661	0,1430
4,2	0,1224	0,1343	0,1217	0,0936
Mva (g/cm ³)	1,602	1,730	1,546	1,724
Ks (cm/dia)	21,4	16,0	373,6	560,3

A figura 6 ilustra um perfil do solo da herdade.



Figura 6: Ilustração do perfil da herdade dos Olivais do Sul

Segundo Cardoso (1974) os solos da herdade classificam-se em litóliconão húmico, pouco insaturado, de quartzodioritos ou rochas afins (Ppq), contudo segundo WRB (1998) os mesmos classificam se em cambissolo êutrício (cmeu). A herdade encontra-se numa zona aplanada, com declives entre 0,5 e 1%, apresenta drenagem superficial moderada e drenagem interna moderada a deficiente. O risco de erosão é moderado.

As curvas de retenção para os dois perfis estão apresentadas nos seguintes gráficos.

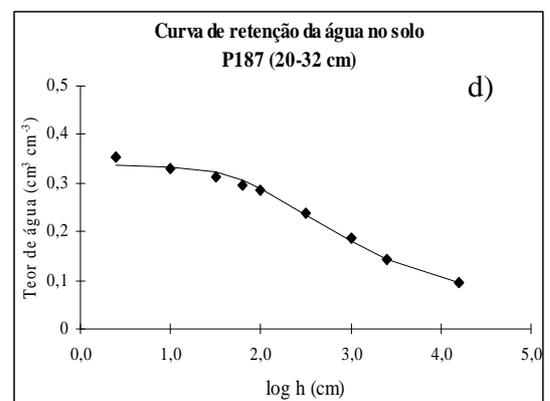
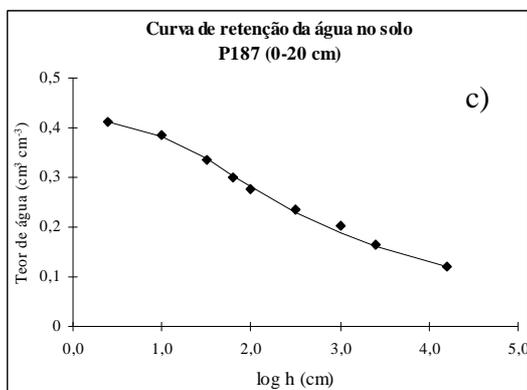
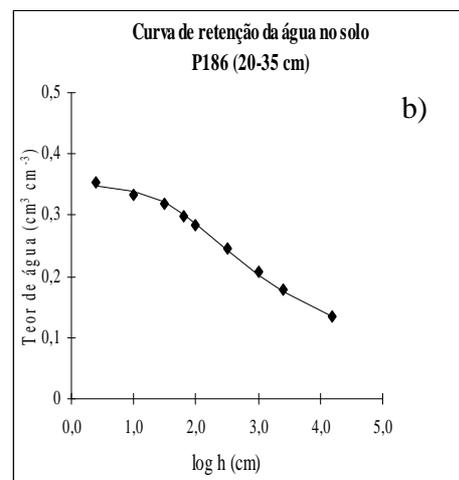
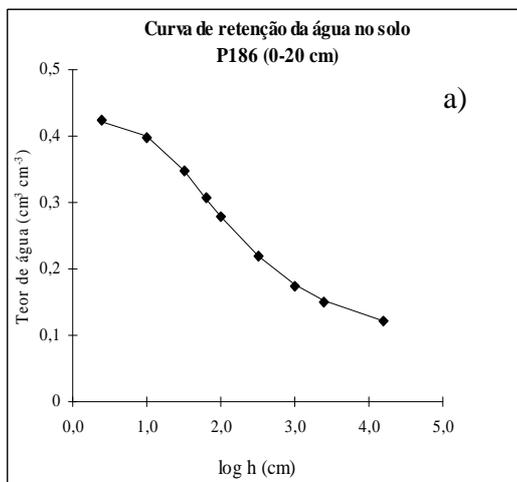


Gráfico 2: Curvas de retenção de água no solo para os dois perfis, nomeadamente a) e b) para o P186 e c) e d) para o P187

3.4. MÉTODOS DE CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DA TRANSPIRAÇÃO

O ensaio foi conduzido, como foi referido acima, em duas herdades, uma praticando o regime de olival intensivo (Álamo de Cima) e a outra praticando o regime de olival super-intensivo (Olivais do Sul).

3.4.1. MÉTODO DE FLUXO DE SEIVA POR IMPULSO DE CALOR (HEAT PULSE VELOCITY-HPV)

A medição do fluxo de seiva foi feita utilizando sondas de impulso de calor (heat-pulse velocity), que funcionam conjuntamente com dispositivos electrónicos e um software para analisar os dados. O sistema é controlado por um datalogger e alimentado por um conjunto de duas baterias, uma para o datalogger e a outra para a sonda de aquecimento.

Cada conjunto de sondas para medição de fluxo de seiva (Figura abaixo) é constituído por três elementos (uma sonda de aquecimento e duas para registar temperaturas), inseridos radialmente no tronco.



Figura 7: Conjunto de sondas HPV para medição do fluxo de seiva com uma sonda de aquecimento (ao centro) e duas sondas de temperatura.

As duas sondas para registar temperaturas, são colocadas 5mm a montante e outra, 10 mm a jusante da sonda de aquecimento, que é instalada entre elas, Esta é constituída por

um tubo de aço inoxidável com 1,63mm de diâmetro e uma resistência eléctrica no interior, e as sondas de temperatura consistem num tubo de Teflon com 1,7mm de diâmetro contendo no seu interior 3 termopares (sondas pequenas) ou 4 termopares (nas sondas mais longas), colocados a várias distâncias ao longo do tubo de Teflon.

As sondas utilizadas nas árvores do Álamo de Cima têm quatro sensores de temperatura colocados no tubo às distâncias de 0,50, 1,20, 2,10 e 3,20 cm. No olival mais jovem (Olivais do Sul), devido ao pequeno diâmetro do tronco das árvores, utilizaram-se sondas mais curtas e com apenas três sensores de temperatura, colocadas no interior do tubo de Teflon às distâncias de 0,50, 1,00 e 1,50 cm da extremidade do tubo. Na herdade Álamo de Cima foram instaladas duas sondas por árvore e na herdade Álamo de Cima foi instalada uma sonda por árvore, devido ao facto de as árvores serem muito jovens, portanto com um diâmetro pequeno.

Através desta técnica determinou-se a velocidade do fluxo de seiva no tronco das árvores, pela aplicação momentânea de um impulso de calor com a sonda de aquecimento, na zona do tronco onde existe movimento de seiva no sentido ascendente (xilema). Este calor foi rastreado pelos sensores de temperatura (termopares) existentes no interior das sondas e a várias profundidades no tronco, sendo desta forma possível determinar a velocidade com que o calor se propagou entre a sonda de aquecimento (emissora de calor) e as outras duas sondas de temperatura colocadas a distâncias fixas, uma 5mm a montante e outra 10mm a jusante do emissor de calor (Figura abaixo).

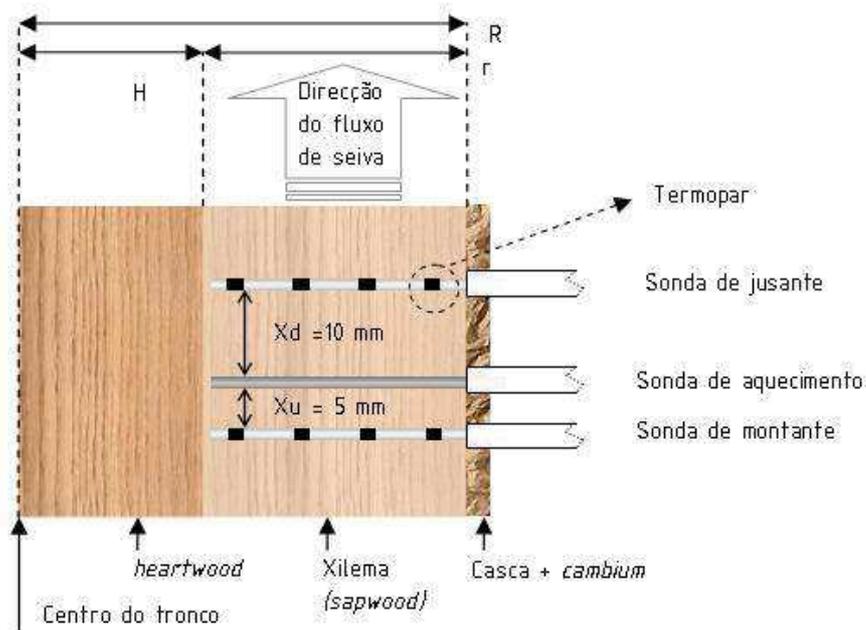


Figura 8: Modo de instalação de um conjunto de sondas para medição do fluxo de seiva num tronco através do método Compensation Heat Pulse. (vista de perfil) R=raio do tronco; H=espessura da zona sem condução de seiva; r=espessura da zona de condução de seiva.

O calor emitido é transportado de duas formas: a) por condução térmica através da madeira e b) por convecção pela seiva que ascende pelo xilema. A existência de duas sondas de temperatura, uma a montante e outra a jusante, permitiu separar estes dois tipos de transporte de calor e isolar a componente de transporte do calor pela seiva a partir do qual se pode estimar a velocidade com que esta circula numa determinada zona do tronco. Com essa velocidade, e conhecendo as dimensões da área transversal do tronco onde circula a seiva, calculou-se o fluxo de seiva que percorreu o tronco.

Quando as temperaturas em qualquer dos termopares à mesma profundidade a montante e a jusante foram idênticas, o datalogger registou tempo decorrido desde a emissão do impulso de calor (t_z). No final do processo foram registados, em cada 30 minutos e por cada conjunto de sondas, os 4 valores de t_z que correspondem às 4 profundidades dos sensores ou três, dependendo do caso.

3.4.1.1. METODOLOGIA DE INSTALAÇÃO DAS SONDAS HPV

A instalação de cada conjunto de sondas fez-se seleccionando uma face homogénea do tronco de uma árvore representativa, evitando a proximidade de ramos ou zonas danificadas. Na zona seleccionada do tronco, e nas posições definidas na Figura 8, fez-se 3 orifícios paralelos com uma broca de 1,8mm como indicado na Figura 9, onde se introduziu as sondas. Estas foram instaladas paralelamente de modo a que os termopares ficassem colocados na zona de circulação de seiva do tronco a várias profundidades e alinhados verticalmente (Figura 10).



Figura 9: Execução dos orifícios para a instalação das sondas HPV com uma peça-guia que garante a precisão das distâncias entre os orifícios.



Figura 10: Aspecto das sondas no tronco após a sua instalação

O datalogger (Figura11) envia para cada conjunto de sondas um impulso de calor de curta duração (1s) em intervalos de 30 minutos, e seguidamente faz sucessivas leituras das temperaturas nos termopares, comparando as temperaturas obtidas nas 4 profundidades a montante e a jusante da sonda de emissão de calor.



Figura 11: Datalogger e equipamento usado para controlar as sondas e acumular os dados de t_z , a partir dos quais se calcula o fluxo de seiva.

3.4.2. MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO DO SOLO PARA O CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL

Como mostram nas figuras 12 a 14, foram instaladas sondas de humidade nos dois tratamentos, usando tubos transparentes e cinzentos. Os tubos transparentes são os recomendados pelo fornecedor da sonda para serem usados como tubos de acesso, e que dão valores de humidade com mais precisão. Porém por serem caros, foram colocados tubos cinzentos de PVC (que são relativamente baratos) de maneira que após se obter experimentalmente a relação entre as humidades registadas para os dois tubos, se fez um ajustamento entre eles, e através de uma regressão linear corrigiram-se os valores dos tubos cinzentos. Os dados de humidade foram lidos com uma periodicidade semanal. Os tubos foram instalados até uma profundidade máxima de 60 cm, como se explicou no ponto 3.1. Para o cálculo da evapotranspiração usou-se a fórmula do balanço hídrico:

$$ET = R + P \pm \Delta S, \quad (6)$$

onde R corresponde a rega, P a precipitação efectiva e ΔS a variação de armazenamento da água no solo. Nota-se que nesta fórmula não se incluem a drenagem profunda nem o escoamento superficial pois faz-se a rega usando o sistema de rega gota-a-gota que permite uma boa eficiência de aplicação em que essas perdas são desprezáveis. Fez-se o cálculo do armazenamento (S) por camada e pelo total das camadas, por data de aquisição da informação. O armazenamento total foi o somatório dos armazenamentos por cada camada. Fez-se o cálculo da variação do armazenamento (ΔS), notando a diferença entre o armazenamento do período posterior e do período anterior. Os dados de precipitação foram obtidos da estação do Álamo de Cima. Calculou-se a precipitação efectiva usando a fórmula da FAO (Struzik, 2001):

$$\begin{aligned} P_{eff} &= 0,6 * P_{mon} - 10 \text{ para } P_{mon} \leq 70 \text{ mm e} \\ P_{eff} &= 0,8 * P_{mon} - 24 \text{ para } P_{mon} > 70 \text{ mm} \end{aligned} \quad (7)$$

onde P_{eff} é a precipitação efectiva e P_{mon} é a precipitação média mensal.

Usou-se a fórmula do balanço para calcular a ET_c somente para os meses em que não houve precipitação, já que seria difícil evitar erros nesses meses devido ao desconhecimento do escoamento superficial, percolação profunda e da eventual ascensão capilar. Usou-se para esses períodos de chuva intensa a seguinte equação (FAO 56), com estimativa do K_c e do ET_o para esses períodos.

$$ET_c = K_c * ET_o, \quad (8)$$

onde ET_c é a evapotranspiração da cultura, K_c é o coeficiente cultural e ET_o é a evapotranspiração de referência (método de Penman-Monteith). A utilização deste expediente evita que a precipitação seja contabilizada no balanço e assim o valor final da ET_c não é falsamente elevado.

Como dito anteriormente, os dados de rega praticados nas herdades foram disponibilizados pelos técnicos responsáveis pela gestão das regas nas duas herdades.

Nas seguintes figuras apresenta-se os esquemas dos ensaios, correspondente aos tratamentos de rega DI e FI para o Álamo de Cima, e aos tratamentos FI e DI para os Olivais do Sul, respectivamente. Os tubos cinzentos, ao lado dos transparentes (Figura 13) serviram para a calibração e correcção dos dados obtidos pelos primeiros, como descrito anteriormente.

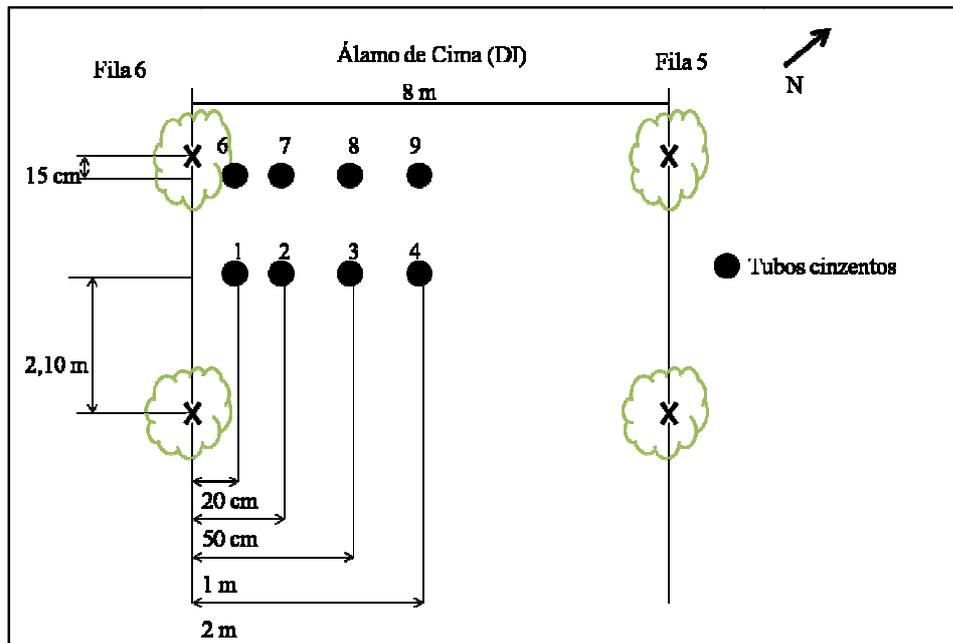


Figura 12- Distribuição de tubos para sondas de humidade AC_DI.

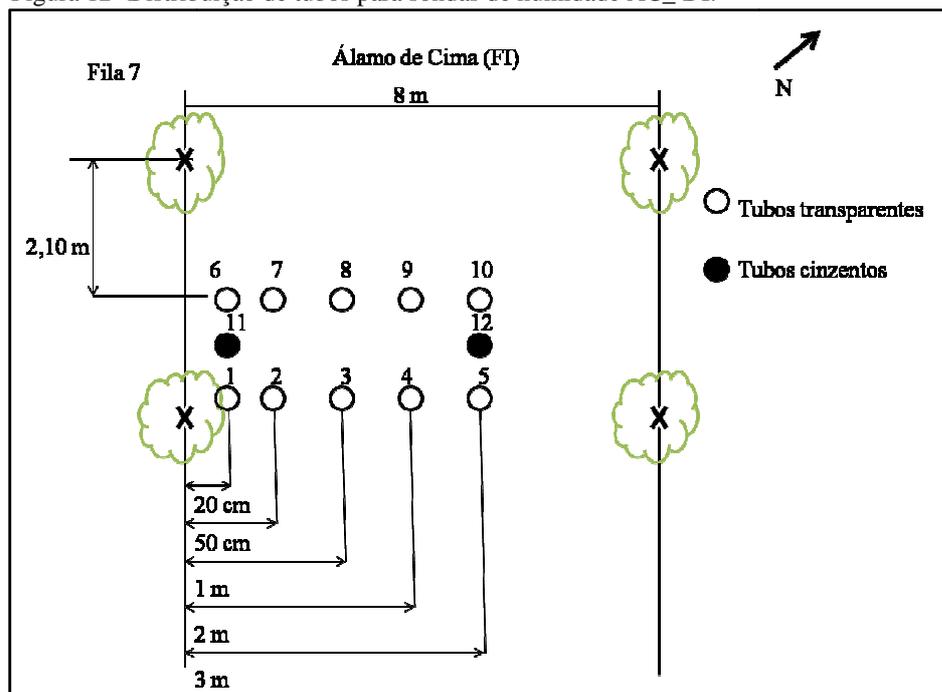


Figura 13: Distribuição de tubos para sondas de humidade AC_FI.

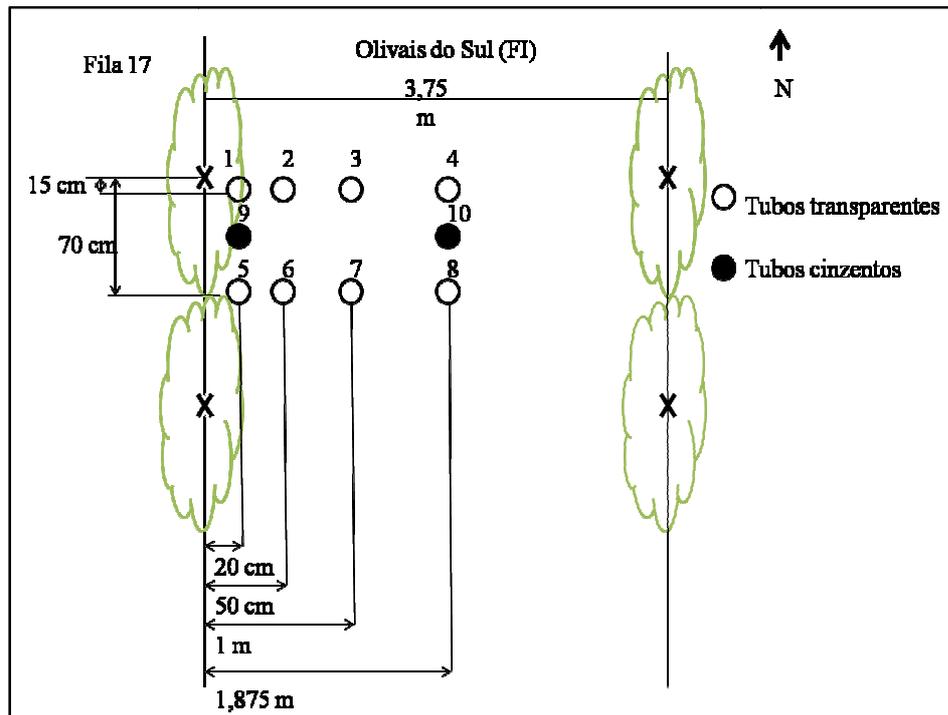


Figura 14 – Distribuição de tubos para sondas de humidade OS_FI

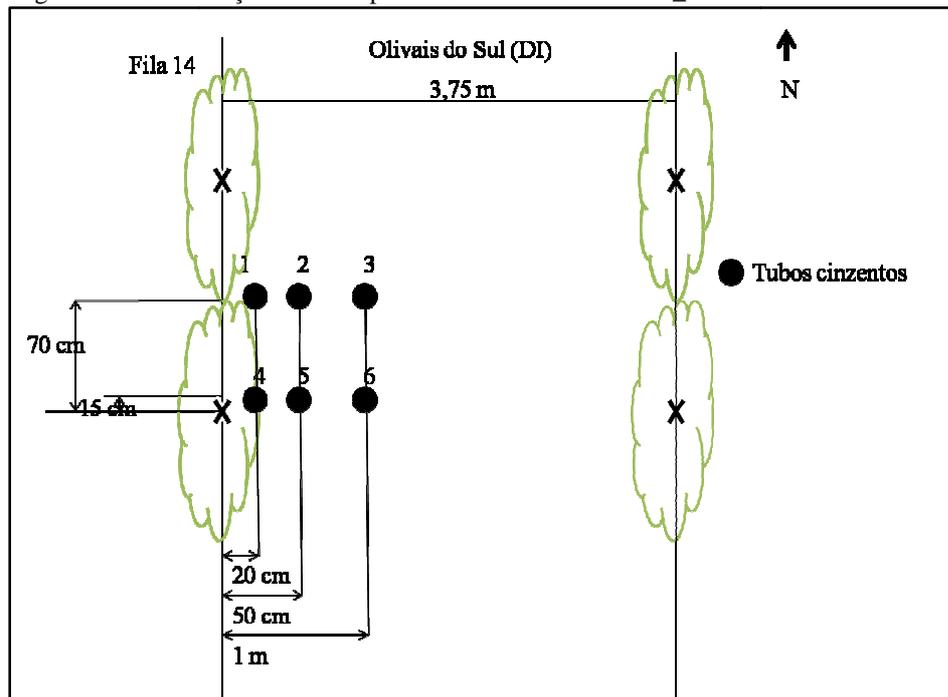


Figura 15 – Distribuição de tubos para sondas de humidade OS_DI

Devido a existência de vários tubos de humidade colocados a várias distâncias, como as figuras acima ilustram, teve-se a necessidade de escolher um único tubo representativo para o cálculo do balanço de água no solo. Para tal, em cada modalidade de rega usou-se o programa SPSS para fazer a correlação de Pearson entre o somatório das humidades de todos os tubos e o de cada tubo. Selecionou-se o tubo com maior valor de correlação, significando que é o tubo que mais representa o global da humidade registada nos vários tubos instalados. Deste modo, os tubos eleitos foram o tubo 2 para a herdade Olivais do Sul, tanto FI como DI, com coeficientes de correlação de 0,903 e 0,911, respectivamente. Para a herdade do Álamo de Cima foram eleitos o tubo 1 para FI e o tubo 5 para DI com coeficientes de correlação de 0,847 e 0,893, respectivamente.

3.5. RELAÇÃO T/ET_o E COEFICIENTES CULTURAIS

Sabe-se que a relação entre a evapotranspiração e a evapotranspiração potencial em situação de conforto hídrico é tida como coeficiente cultural, K_c. Nos casos em que a transpiração é o parâmetro em causa e é avaliada em situação de conforto hídrico e pleno abastecimento de água no solo, usa-se a mesma relação, que é conhecida como coeficiente cultural basal (K_{cb}).

3.5.1. RELAÇÃO TRANSPIRAÇÃO/EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (T/ET_o)

No caso do ensaio, a relação T/ET_o foi determinada obtendo-se a razão entre a transpiração estimada através das sondas do fluxo de seiva e a evapotranspiração de referência, ET_o. A unidade da transpiração apresentada neste trabalho é mm/dia, em concordância com a da evapotranspiração de referência e a das precipitações ocorridas e registadas. Contudo, os valores de transpiração modelados pelo método de impulso de calor são obtidos em litros por árvore e por períodos de uma hora, acumuladas posteriormente para o período diário, de 24 horas. A conversão de litros para mm fez-se como é tradicional na engenharia da rega, tendo em conta a cobertura total do solo, através do compasso de plantação das árvores nas duas herdades.

3.5.2. RELAÇÃO GENERALIZADA T/ET₀ (K_c) PELO MÉTODO DE TESTI

Como dito anteriormente, segundo Testi *et al.* (2006), a evapotranspiração de um olival sob rega localizada apresenta 4 componentes básicos: (a) transpiração da árvore (E_p), função das dimensões do copado e da altura do ano; (b) evaporação directa da folhagem (E_{pd}) aquando da intercepção da precipitação, e que é função da cobertura do solo e da frequência com que o copado é molhado; (c) evaporação de toda a superfície do solo (E_s), a qual é função fundamentalmente do período médio que a superfície do solo total do olival é molhada e do sombreamento do copado e (d) evaporação das áreas directamente molhadas pelos gotejadores (E_{ws}), a qual depende da fracção de solo humedecida e da frequência da rega. Para a determinação do K_c segundo este método seguiu – se os seguintes procedimentos:

1. O método requer dados de entrada, que são:

a) Da planta:

- Densidade de plantação (dp – árvores/ha)
- Diâmetro da copa (D - m)
- Altura da copa (H - m)

b) De clima

- Evapotranspiração de referência (ET₀ – mm/dia)
- Número mensal de dias de chuva (n – dias/mês)

c) Do sistema de rega

- Número de gotejadores/árvore (ng)
- Diâmetro médio do solo humedecido por cada gotejador (Dg)
- Intervalos de rega (i)

2. Cálculos intermediários

a) Volume da copa por oliveira

$$V_o \text{ (m}^3\text{/oliveira)} = \frac{1}{6} \pi * D^2 * H \quad (9)$$

b) Volume da copa por unidade de superfície de solo

$$Vu \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)} = Vo * \frac{dp}{10000} \quad (10)$$

c) Fração de solo coberto pela copa da oliveira

$$CS \text{ (Fração)} = \frac{\pi * D^2}{4} * \frac{dp}{10000} \quad (11)$$

d) Densidade de área foliar (m² de folha/m³ de copa)

$$LAD \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{)} = 2 - \frac{Vo-20}{100} \quad (12)$$

e) Coeficiente de extinção da radiação

$$Kr = 0,52 + 0,00079 * dp - 0,76 * e^{-1,25 * LAD} \quad (13)$$

f) Fração de radiação interceptada pela copa do olival

$$Qd = 1 - e^{-kr * Vu} \quad (14)$$

g) Frequência mensal de chuvas

$$F = n/30 \quad (15)$$

h) Fração de solo humedecido pelos gotejadores

O cálculo é feito de maneira distinta para os olivais das duas herdades, isto é, nos olivais cujos bolbos húmidos permanecem isolados, dado o afastamento entre os gotejadores, como foi o caso na herdade Álamo de Cima, o cálculo foi feito usando a equação 16, enquanto que para olivais cujos bolbos molhados se tocam, formando uma linha contínua, como é o caso na herdade Olivais do Sul, o cálculo foi feito usando a equação 17.

$$fw = \frac{\pi * Dg^2}{4} * \frac{ng * dp}{10000} \quad (16)$$

$$fw = l/L \quad (17)$$

onde D_g é o diâmetro médio dos bolbos na superfície do solo, n_g é o número de gotejadores instalados por cada oliveira, d_p é a densidade de plantação, L é a distância entre linha, l é a largura da banda humedecida contínua.

3. Cálculo do coeficiente de transpiração (K_t).

Para o cálculo do coeficiente de transpiração aplicou-se a equação 18.

$$K_t = Q_d * F_1 * F_2 \quad (18)$$

onde:

- $F_1 = 0,72$ para densidades de plantação inferiores a 250 árvores/ha, ou
- $F_1 = 0,66$ para densidades de plantação superiores a 250 árvores/ha.

F_2 toma os valores mensais que se mostram na tabela 6.

Mês	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
F1	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66
F2	0,9	1,05	1,25	1,25	1,2	1,1	1,2

Tabela 6: Valores de F_1 e F_2

4. Cálculo do coeficiente de evaporação da superfície do solo (K_s)

Para o cálculo do coeficiente de evaporação da superfície do solo aplicou-se a equação 19.

$$K_s = \left[0.28 - 0.18 * CS - 0.03 * ET_0 + \frac{3.8 * F * (1 - F)}{ET_0} \right] * (1 - fw) \quad (19)$$

onde F é a frequência de chuvas do mês considerado, é calculado fazendo a razão entre o número de dias de chuva do mês e o número de dias do mês.

Em condições em que ocorrem valores elevados de ET_0 e alta percentagem de cobertura do solo e baixa frequência de chuvas (por exemplo olivais intensivos adultos em meses de verão em zonas de clima mediterrânico), o K_s pode ser negativo. Desta maneira é

necessário estabelecer um valor basal de evaporação, que é o valor mínimo de evaporação, estabelecido pela equação 20.

$$K_s \text{ min} = \frac{0.30}{ET_0} \quad (20)$$

Portanto, esta relação ($K_s \geq K_s \text{ min}$) deve ser sempre satisfeita. Caso o K_s seja inferior que o K_s mínimo, nesse caso o K_s toma o valor deste último.

5. Cálculo do coeficiente de evaporação da superfície do solo molhado pelos gotejadores (Kg)

Para o cálculo do coeficiente de evaporação da superfície do solo aplicou-se a equação 21.

$$Kg = \frac{1.4 * e^{-1.6 * Qd} + (4 * \frac{\sqrt{i-1}}{ET_0}) * fW}{i} \quad (21)$$

onde i é o intervalo entre regas em dias.

3.6. ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DOS DOIS OLIVAIS

Para a estimativa da produção fez-se a colheita das azeitonas de 12 árvores por cada modalidade de rega no dia 25 de Outubro de 2011 (Anexo 4). Nas duas herdades o método usado na apanha das árvores seleccionadas de cada tratamento de rega foi o de varejamento.

Fez-se a média aritmética do peso das azeitonas das 12 árvores colhidas por modalidade e após secagem determinou o teor em óleo. De seguida extrapolou-se esse valor para o hectare, estimando-se dessa forma a produção global.

3.7. ANÁLISE DOS DADOS E CÁLCULO DO FLUXO DE SEIVA

Como referido, a sonda de aquecimento emite um impulso de calor a cada 30 minutos, desta maneira o datalogger regista os dados numa periodicidade de 30 minutos. Após a

obtenção dos valores de t_z registados pelo datalogger, e considerando as características das sondas e da árvore monitorizada, o fluxo de seiva foi calculado através de um programa HPV2004 que para o efeito realiza a sequência de operações que se descreve em seguida: A velocidade V do impulso de calor em cada sensor da sonda em m/s é calculada através da equação 22:

$$V = (X_d + X_u) / (2 t_z) \quad (22)$$

Em que t_z corresponde ao tempo, em segundos, desde a emissão de calor até que as temperaturas nas distâncias X_d e X_u sejam iguais. Como a introdução das sondas no xilema provoca perturbações locais na circulação da seiva, induzindo a subestimação dos valores medidos na velocidade (V) do impulso de calor, é necessário introduzir uma correcção para compensar este efeito. A velocidade do impulso de calor corrigida, V_c , é dada pela equação 23:

$$V_c = a + bV + cV^2 \quad (23)$$

Os factores a, b, c estão tabelados e dependem do diâmetro dos orifícios de instalação das sondas (woundwidth). No caso específico das oliveiras, ensaios de calibração das sondas de fluxo de seiva levados a cabo por Fernández *et al.* (2004) indicam que a melhor concordância entre o fluxo de seiva estimado pelas sondas e o fluxo de seiva real foi conseguido considerando um diâmetro efectivo do orifício de instalação de 2,0 mm. Foi esse o usado nos cálculos.

Com essas considerações, a densidade do fluxo de seiva em m/s é então obtida através da equação 24:

$$J = (0,441 FM + FL) \cdot V_c \quad (24)$$

em que FL e FM correspondem respectivamente à fracção de água e de madeira seca presentes numa amostra de madeira retirada do tronco, amostragem essa que foi efectuada durante o período de rega. Como a densidade do fluxo J é obtida à várias profundidades, o perfil de velocidade como função do raio do tronco r é

determinado ajustando uma curva de regressão de segunda ordem a esses valores de J (equação 25).

$$J(r)=S r^2+Tr+U \quad (25)$$

O fluxo de seiva volumétrico Q em m³/s é obtido através da integração dessa curva J(r) na secção transversal do xilema:

O programa oferece três opções de cálculo do integral, mas a melhor está representada na seguinte equação do método de integração, que é baseado na soma ponderada do produto da velocidade da seiva pela área de xilema associada.

$$Q = \sum_i A_i \cdot V_i \quad (26)$$

O software de análise HPV2004 exige que se definam as características da árvore, que incluem as fracções de madeira e água e as espessuras das zonas activa e inactiva do tronco. As amostras para obter a espessura da zona de condução da seiva (sapwood) e para a determinação das fracções de madeira e água da madeira, foram obtidas com um extractor de amostras do tipo “Suunto” (Figura16).



Figura 16: Obtenção de amostras de madeira do tronco para determinar a espessura da zona de circulação da seiva (sapwood) e das fracções de madeira e água da madeira.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TRANSPIRAÇÃO DOS DOIS OLIVAIS (INTENSIVO E SUPER-INTENSIVO) ATRAVÉS DO MÉTODO DE FLUXO DE SEIVA, AO LONGO DO PERÍODO DE REGA

A transpiração calculada nos dois olivais, intensivo e super-intensivo das herdades Álamo de Cima e Olivais do Sul respectivamente apresenta-se no gráfico 3.

A transpiração em mm/dia foi calculada com basena transpiração em L/dia e no compasso (m²) de plantação. A herdade Olivais do Sul desta forma apresenta maiores taxas de transpiração em relação às da herdade Álamo de Cima pois o compasso dos Olivais do Sul é muito menor em relação ao do Álamo de Cima, apesar de no Álamo ter árvores muito maiores. Porém o padrão temporal (comportamento) da transpiração nas duas herdades foi o mesmo, começando por uma subida que atinge o pico no Olivais do Sul no dia 15 de maio (dia 135) com 4,31 para FI e no dia 24 de maio (dia 144) com 4,32 mm/dia para o DI. O olival no Álamo de Cima atingiu o seu pico de transpiração no dia 26 de Junho (dia 177) com 1,58 e 1,98 mm/dia para o FI e DI, respectivamente. Após esse pico, o comportamento dos dois olivais foi caracterizado por uma descida nos valores da transpiração, até ao final do período de rega. Os elevados valores de transpiração (picos) resultam do uso combinado da água armazenada no solo resultante de chuvas de inverno/primavera e das regas aplicadas. Durante o decurso do verão esse armazenamento foi-se reduzindo, fruto de ausência de precipitação e de regas ajustadas para os ensaios.

Na herdade Olivais do Sul não se observaram diferenças claras entre os dois tratamentos, nomeadamente entre as modalidades FI e DI, com diferentes dotações de rega, apesar de no início a modalidade FI apresentar valores de transpiração maiores em relação ao DI, ocorrendo depois uma inversão por volta do dia 10 junho (dia 161) até ao dia 13 de agosto (dia 225). A partir daí os dois parecem ter tido taxas de transpiração semelhantes mesmo estando a ser regados com débitos diferentes.

Na herdade Álamo de Cima no princípio os dois tratamentos parecem apresentar a mesma taxa de transpiração, depois observa-se claramente uma diferença entre eles,

sendo o tratamento DI com a maior taxa de transpiração desde por volta do dia 17 de maio (dia 137) até por volta do dia 14 de setembro (dia 257). Esta diferença podia ser explicada pelo facto do tratamento DI ter sido regado com gotejadores de 2,3 L/h, porém a rega com esse débito começou no dia 23 de maio (dia 143) e terminou no dia 19 de julho (dia 200), o que não coincide com o gráfico em todo o período em que o DI apresenta maior taxa de transpiração. A partir de por volta do dia 257 os dois tratamentos parecem apresentar a mesma taxa de transpiração mesmo quando se volta a alterar o débito do DI para 2,3 L/h desde o dia 8 de setembro (dia 251) até ao dia 7 de Outubro (dia 280).

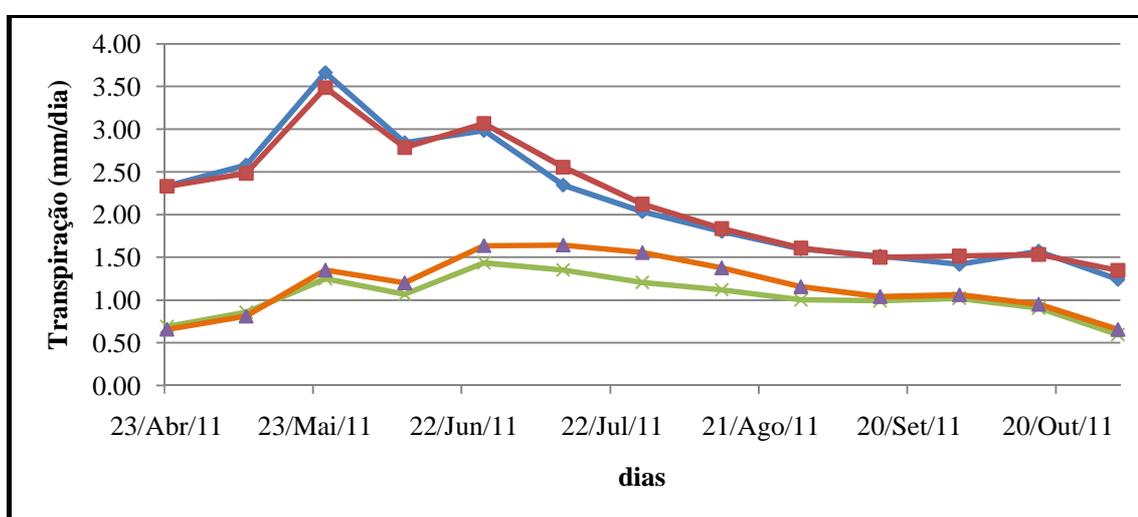


Gráfico 3: Evolução da transpiração ao longo do período de rega, ◆ Transpiração (mm/dia) _OS_FI, ■ Transpiração (mm/dia)_OS_DI, ✕ Transpiração (mm/dia) _AC_FI, ▲ Transpiração (mm/dia) _AC_DI.

Analisando a transpiração nas distintas fases em que se alterou o débito de rega dos gotejadores como mostram os gráficos 4 a) e b), herdade Olivais do Sul e Álamo de Cima respectivamente, constata-se que para a herdade OS na primeira fase (06 / 05 a 13 / 07) em que os débitos eram iguais nas duas modalidades de rega (2,3 L/h) a transpiração foi praticamente a mesma (204,3 mm e 204,7 mm para as modalidades FI e DI respectivamente). Na segunda fase (14/07 a 06/10) em que a modalidade DI passa a ter o débito de 1,6 L/h, a transpiração na modalidade FI (144,4 mm) foi ligeiramente superior à da modalidade DI (141 mm).

Na herdade Álamo de Cima existiram 3 fases em que o débito dos gotejadores foi alterado alternadamente até ao final do período de rega. Na primeira fase (06/05 a 19/07) em que os débitos são diferentes nas duas modalidades de rega, a transpiração foi praticamente a mesma (53,7 mm para a modalidade FI e 58,3 mm para a modalidade DI). Na segunda fase (20/07 a 07/09) em que alterou-se o débito da modalidade DI para 1,6 L/h a transpiração foi maior para esta modalidade como não era de se esperar, de 112,3 mm e a da modalidade FI foi de 93,1 mm. Na terceira fase e última fase (08/09 a 06/10), em que voltou se a diferenciar o débito nas duas modalidades, alterando o débito da modalidade DI para 2,3 L/h, a transpiração tendeu a ser a mesma (30,4 mm para a modalidade FI e 31,4 mm para a modalidade DI).

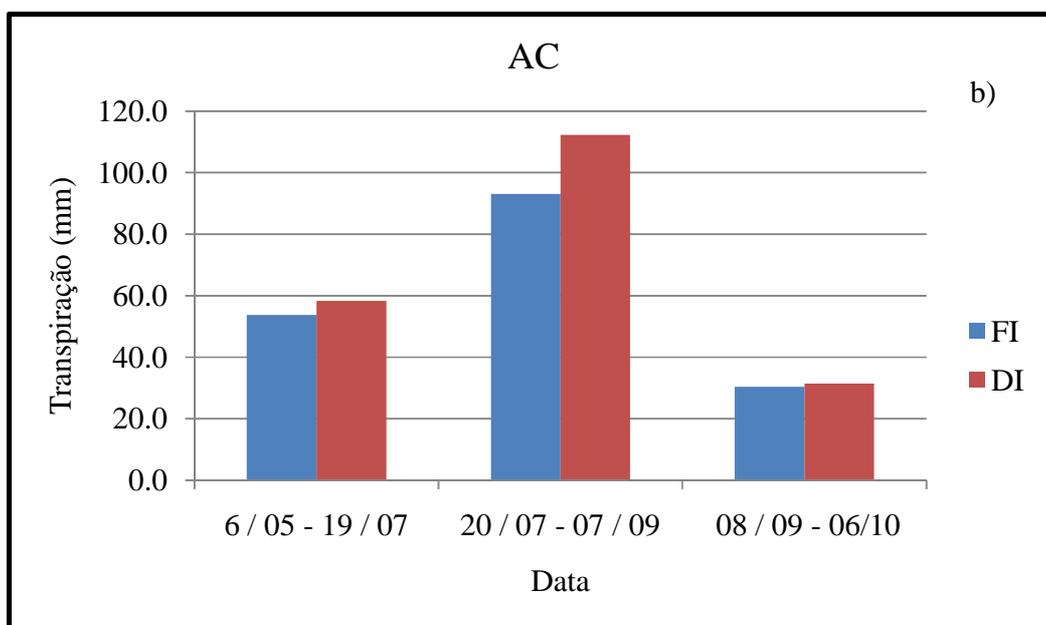
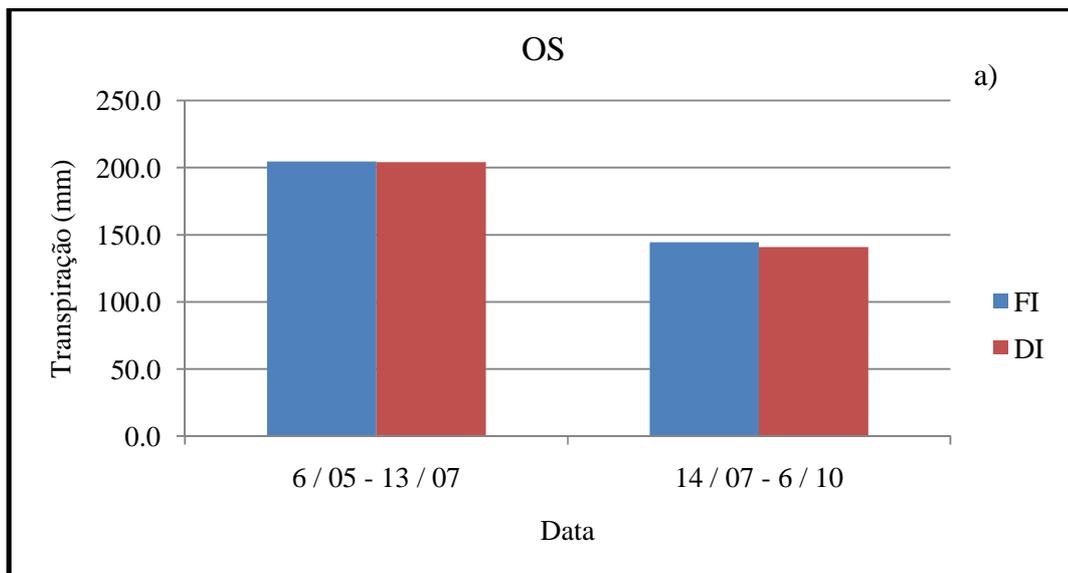


Gráfico 4: Transpiração por fases, a) OS e b) AC

4.2. ÁGUA DE REGA VERSUS TRANSPIRAÇÃO

Analisando a tabela 7 da água fornecida versus a transpiração no período de 06/05 a 06/10, transpiração é em geral mais elevada que a água de rega aplicada, mostrando que as árvores usaram água acumulada no solo durante o inverno e primavera, resultante das chuvas.

Tabela 7: Água fornecida versus transpiração durante todo o período do ensaio

	Herdade Álamo de Cima		Herdade Olivais do Sul	
	FI	DI	FI	DI
Transpiração (mm)	177,2	202,0	349,1	345,2
Água de rega (mm)	174,1	225,2	305,0	256,0

4.3. POTENCIAL HÍDRICO DO RAMO

O potencial hídrico do ramo ao meio dia solar foi o parâmetro que espelhou melhor o estado hídrico dos olivais (Gráfico 5).

O potencial hídrico no início da recolhadados dados apresentava valores satisfatórios (cerca de -1 MPa), o que significa que os olivais estavam em conforto hídrico, nas duas herdades e nas duas modalidades de rega. As duas modalidades de rega FI e DI respectivamente mostraram quase o mesmo comportamento ao longo do período de rega na herdade Olivais do Sul. O tratamento DI a partir do dia 14 de julho (dia 195) até ao final do período de rega passou a ser regado com um débito de 1,6 L/h, notando-se no gráfico um ligeiro aumento (mais negativo) do potencial hídrico, O gráfico do potencial hídrico mostra que o potencial tornou-se mais negativo a partir dessa data, porém no dia 22 de setembro (dia 265) os dois tratamentos apresentaram um potencial mínimo de -3 MPa.

Na herdade do Álamo de Cima os dois tratamentos apresentaram um stresse moderado, indicado por valores decrescentes de potencial hídrico como se observa no gráfico 5, embora o tratamento DI tenha apresentadostresse mais moderado indicado por valores de potencial ligeiramente superiores (menos negativos). Porém o stressecomeça logo no início das regas, e não apresenta muitas variações, o que sugere que a humidade não influenciou o potencial hídrico.

Estes resultados dão uma indicação de que a rega nos 4 tratamentos não esteve bem calendarizada, ou os tempos de rega foram reduzidos nos meses de julho e agosto, em que os valores de potencial hídrico são mais negativos.

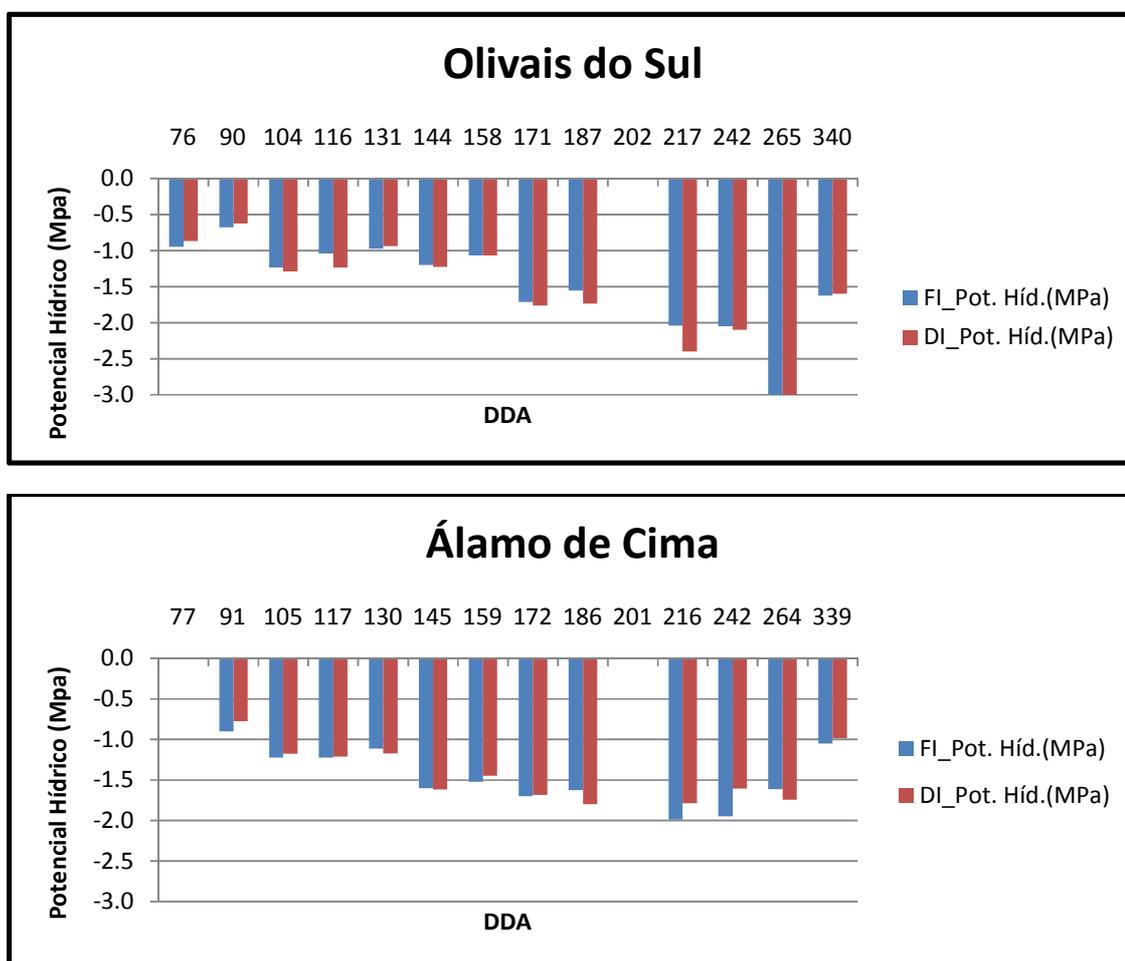


Gráfico 5: Potencial hídrico ao longo do período de rega nos olivais do sul e álamo de cima, FI e DI, correspondente aos dias 17 e 31 de março, 14 e 26 de abril, 11 e 24 de maio, 7 e 20 de junho, 6 e 21 de julho, 5 e 30 de agosto, 22 de setembro e 6 de dezembro.

4.3.1. RELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL HÍDRICO E A ÁGUA DISPONÍVEL RELATIVA (RAW)

A relação entre o potencial hídrico e a RAW no OS mostrou ser bastante robusta, uma vez que quando o RAW baixava o potencial hídrico tornava-se mais negativo, com os valores de coeficiente de determinação de, 0,61 e 0,63 para DI e FI, respectivamente. Sendo esta relação satisfatória, observa-se redução acentuada de potencial hídrico quando a água disponível no solo desceu de 0,6. Para valores de 0,5 de água disponível, o potencial é já bastante negativo, sugerindo que para o solo e olival em causa deve-se

manter o armazenamento de água com níveis superiores a 0,6 de RAW. Foi o que não aconteceu nos últimos dias do ciclo de rega, em agosto e nos fins de julho.

Na herdade AC, a relação não foi tão robusta, isto é, os gráficos mostram não haver uma relação clara entre as duas variáveis. Esta fraca correlação, representada por baixos valores de R^2 observados no gráfico seguinte pode ser atribuída ao contínuo stresse a que o olival foi sujeito desde o início da rega, derivado do eventual fecho dos estomas por parte das plantas como resposta ao contínuo défice hídrico. Por outro lado, analisando os gráficos da RAW ao longo do período de rega, constata-se que não houve aí grandes variações, apesar de na modalidade DI ter tido claramente maiores valores em relação a FI. Assim sendo, o potencial hídrico do ramo permaneceu consideravelmente constante para valores decrescentes, mas já baixos, de RAW desde o início das regas. A planta, através do fecho estomático, manteve valores estáveis de potencial hídrico, apesar o progressivo declínio nos valores de água no solo. Tal facto demonstra a capacidade de ajustamento do olival ao défice hídrico no solo, fechando os estomas e permanecendo com uma hidratação interna constante durante longos períodos. Este facto é largamente documentado na literatura científica que trata do olival regado e de sequeiro (Fernandez *et al.* 1999). Pela sua importância, detalha-se de seguida estes factos.

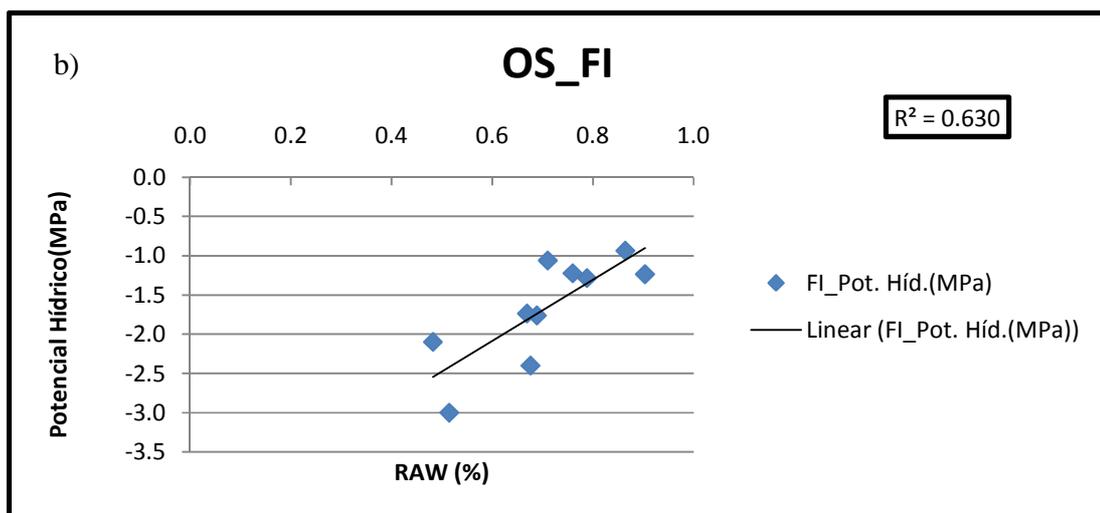
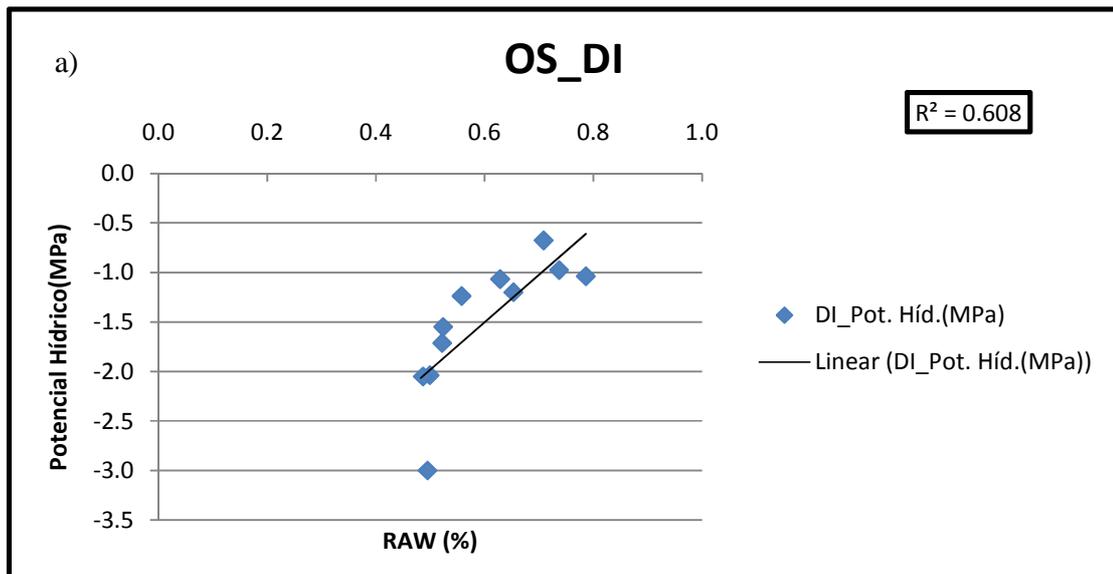


Gráfico 6: Relação entre o potencial hídrico e o RAW, a) OS_DI, b) OS_FI,

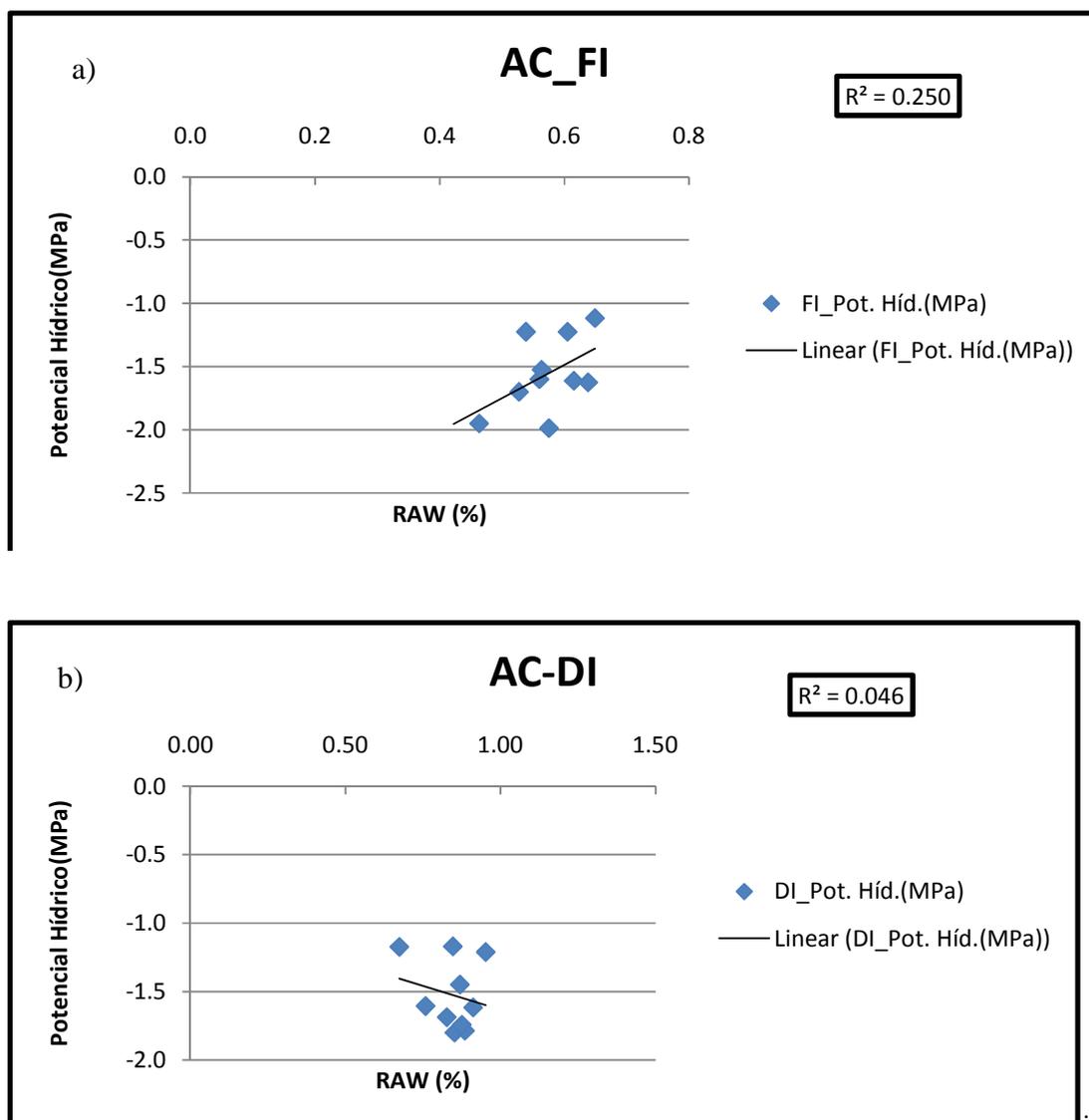


Gráfico 7: Relação entre o potencial hídrico e o RAW, a) AC_FI e b) AC_DI.

4.3.2. EVOLUÇÃO DA ÁGUA DISPONÍVEL RELATIVA (RAW) AO LONGO DO PERÍODO DE REGA

Com o RAW a diminuir ao longo do tempo, chegando a um valor mínimo de 0,5 no Olivais do Sul nas duas modalidades de rega (FI e DI respectivamente), e mantendo-se constante esse valor por muito tempo, de 28 de junho a 31 de setembro na modalidade DI, e de 21 de julho até 21 de setembro apesar de ter tido uma ligeira subida para 70% a 5 de agosto na modalidade FI, o potencial decresceu, tornando-se mais negativo, chegando a

atingir o valor mínimo de -3 MPa a 22 de Setembro. Isto nas duas modalidades de rega. Na herdade do Álamo de Cima a RAW teve em todo o período de rega em média o valor de 0,5 para a modalidade FI. No gráfico 8 pode se observar a evolução da RAW ao longo do período de rega.

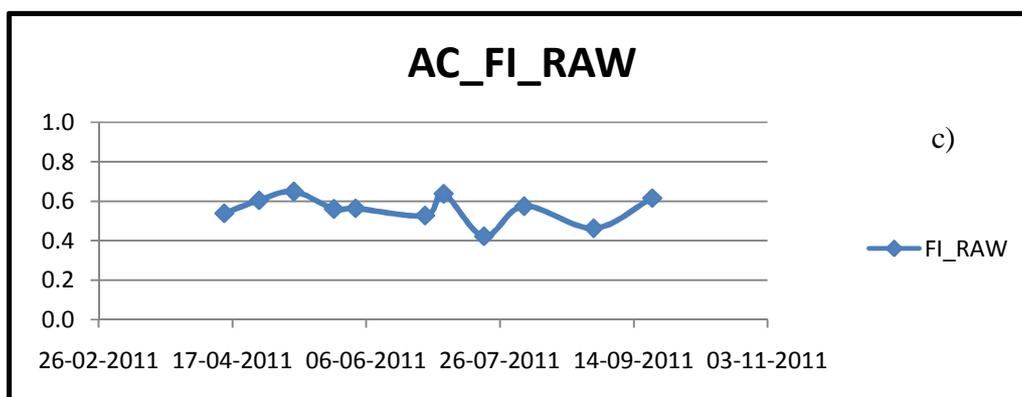
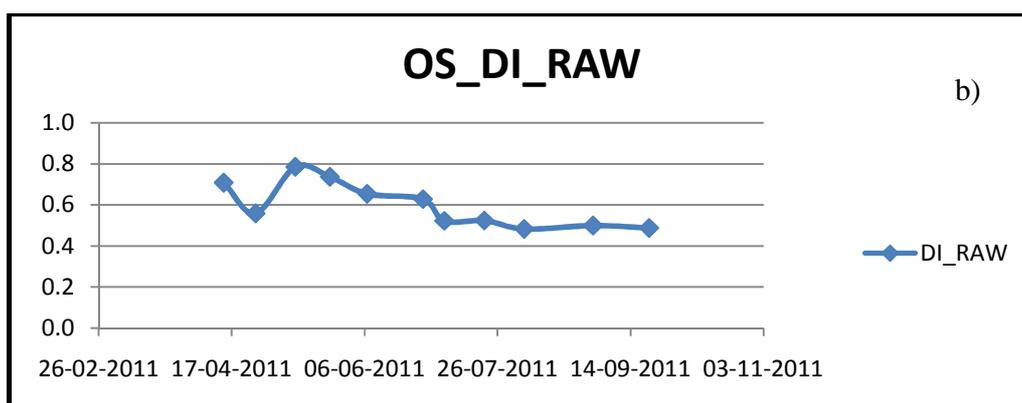
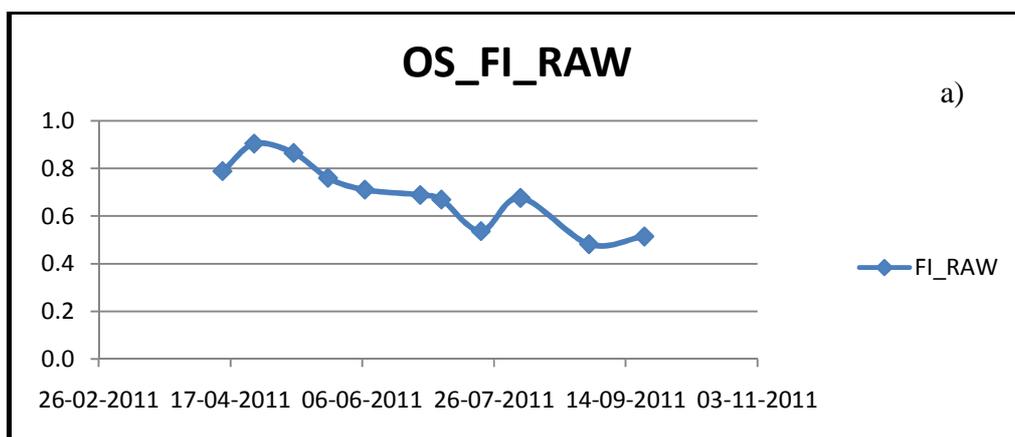


Gráfico 8: Evolução da fracção de água disponível relativa no solo, a) OS_FI, b) OS_DI e c) AC_FI.

4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DO BALANÇO HÍDRICO

No método do balanço hídrico os resultados não foram completamente satisfatórios, devido às razões esperadas e já apontadas no ponto 2.5.1.1 e também ao facto de não se ter mantido as plantas em conforto hídrico como se mostrou no ponto 4.3.1.

O anexo 5 mostra tabelas com os valores envolvidos no balanço. É de realçar que os valores de ET_c obtidos no período de rega foram de 435,1 mm (OS_FI), 412,8 mm (OS_DI), 327,3 mm (AC_FI) e 312,3 mm (AC_DI), respectivamente. No mesmo período o somatório entre a rega e a precipitação foi de 388,3 mm, 350,1 mm, 297,4 mm e 347,3 mm para as modalidades OS_FI, OS_DI, AC_FI e AC_DI respectivamente, facto que demonstra a mobilização da água do solo armazenada no solo durante os períodos de inverno e primavera para a transpiração das árvores de todos os tratamentos.

Na herdade OS a modalidade DI teve menor evapotranspiração em relação à modalidade FI. Na herdade AC a modalidade FI teve maior evapotranspiração em relação à modalidade DI, o que não é de se esperar já que esta última é a que recebeu mais água de rega. Os resultados resultam da fragilidade do método de balanço da água do solo e estes resultados corroboraram os observados por Petillo e Castel, (2007) quando afirmam que no método do balanço hídrico, a principal desvantagem é que o erro na estimativa dos diferentes termos é acumulado na ET_c, o que o torna não muito preciso. Outra possível causa pode ser devido a dificuldades de monitorização de todo o perfil explorado pelas raízes associado ao tipo de rega usado (Rodrigues, 2011), bem como a monitorização da humidade do solo com apenas alguns tubos de acesso, quando as árvores espalham as raízes em toda a área humedecida e não só. Este método de avaliação da evapotranspiração de culturas arbóreas (lenhosas) vem por isso sendo progressivamente abandonado em favor de métodos mais directos, como o do fluxo de seiva, que usam a planta como biosensor, indicando directamente a água de facto usada pelas plantas, e não indirectamente, através da água existente no solo, como o faz o método do balanço. Neste último, o solo pode estar provido de água e a planta, por razões que se prendem com a solicitação evaporativa do local do ensaio, a planta não extraí água (por fecho incompleto

dos estomas), indicando o balanço uma evapotranspiração elevada, enquanto que de facto a planta não está transpirando no seu pleno.

4.5. RELAÇÃO TRANSPIRAÇÃO/EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (T/ET_o)

Esta relação mostrou – se muito baixa para a herdade do AC em que os valores são em média de 0,2, o que era esperado atendendo ao défice hídrico detectado com os valores de potencial hídrico. Na herdade OS esta relação mostrou – se mais adequada com a literatura (gráfico 9), apresentando a curva côncava que é característica do olival (Testi *et al.*, 2006) e um valor mais elevado e que em média é de 0,3 durante o verão. De qualquer forma, nota-se que durante os meses de verão o olival em geral reduz a sua actividade fisiológica, com fecho estomático, não consumindo muita água (daí o declinar dos valores de transpiração observados no verão), retomando a actividade fisiológica já em Setembro, quando se inicia o período de chuvas nos climas Mediterrânicos, após o longo período estival seco. Daí dever-se reduzir a água aplicada no verão (como foi programado nos ensaios a testar) e disponibilizar água de rega em setembro, caso faltem as chuvas nesse período crítico.

Os dados de T/ET_o das datas anteriores às apresentadas no gráfico foram rejeitados por falha da estação meteorológica nos dados de ET_o dos dias 13 a 29 de maio.

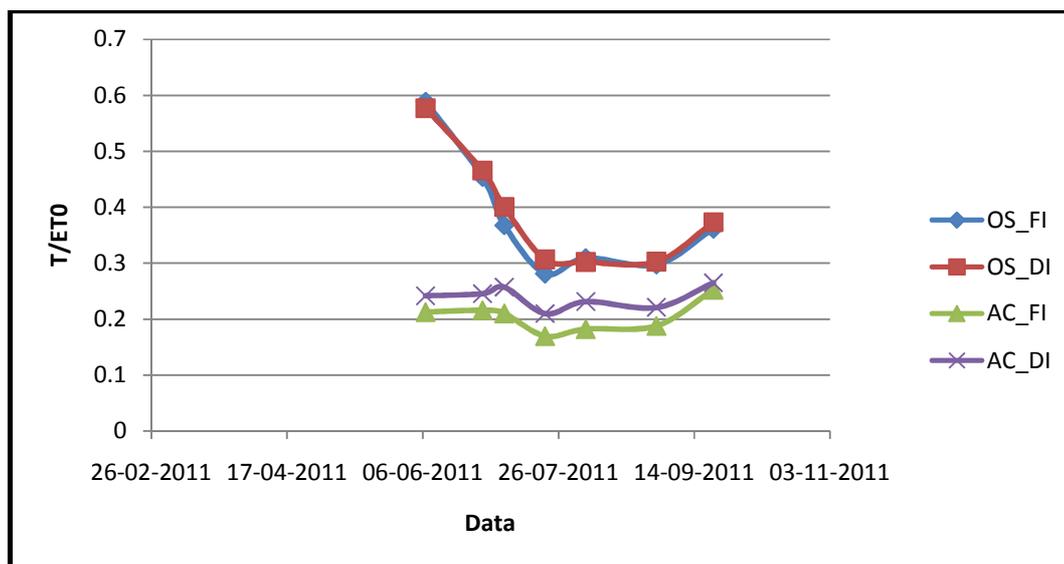


Gráfico 9: Relação transpiração/Evapotranspiração de referência (T/ETo)

4.6. RELAÇÃO GENERALIZADA T/ET_o (K_c) PELO MÉTODO DE TESTI

Os resultados obtidos da aplicação do método de Testi ao cálculo do K_c são apresentados no gráfico 10. De realçar que esses valores de K_c incorporam as várias componentes envolvidas na evapotranspiração (planta, solo molhado pelo gotejador, solo humedecido pelas chuvas, evaporação do solo e das folhas) e não devem ser comparados com os obtidos através da relação T/ET_o dos fluxos de seiva. Esta última será comparável à relação entre K_t de Testi e ET_o (Gráfico 11), conhecida na literatura como coeficiente cultural basal (com as plantas plenamente abastecidas de água – ver anexo6).

Os valores de K_c da herdade Álamo de Cima são os esperados de acordo com a literatura, enquanto que os da herdade Olivais do Sul são demasiado elevados. Toda a sequência de cálculo é apresentada no anexo 6. A curva do K_c da herdade do Álamo de Cima é característica do olival (figura 4), pois apresenta-se no início com valores relativamente elevados que vão caindo com o passar do tempo e voltam a subir, formando um aspecto côncavo, em U (Testi *et al.*, 2006). Os valores de K_c para o olival regado na herdade OS apresentam o mesmo comportamento, porém os valores são muito mais altos. Tal facto não é de estranhar pois o modelo foi desenvolvido para o olival intensivo e neste caso a extrapolação para o olival super-intensivo não é adequada. Com o método concebido para

olivais intensivos, semelhantes aos da herdade AC, já não surpreende que os valores de K_c sejam aí adequados.

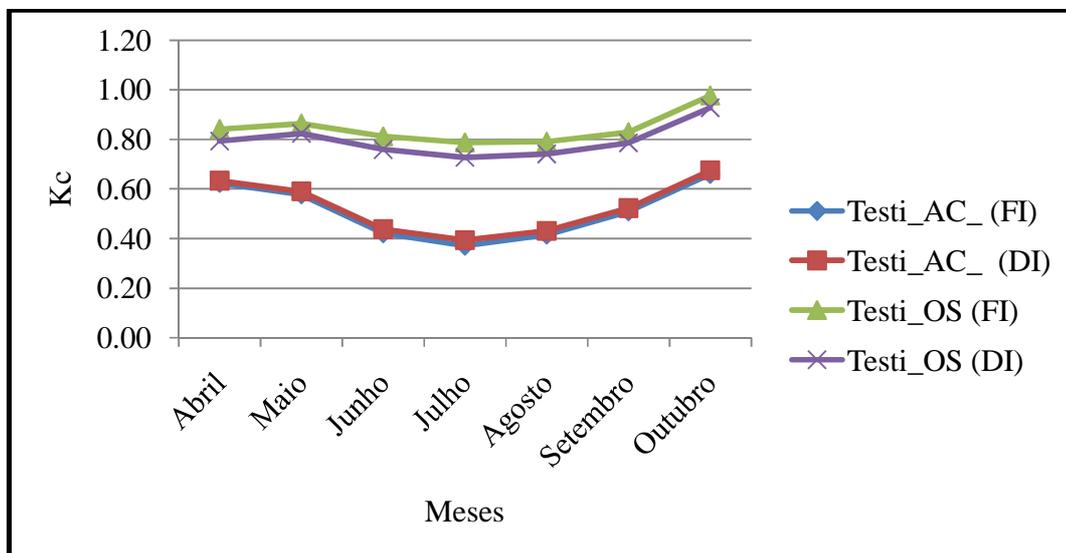


Gráfico 10: Valores de K_c pelo método Testi

O gráfico 11 apresenta os valores de K_t obtidos com o método de Testi. Referem-se aos valores de coeficiente de transpiração potencial e serão comparáveis ao K_{cb} de Allen *et al.* (1998). São ainda elevados para a herdade Olivais do Sul.

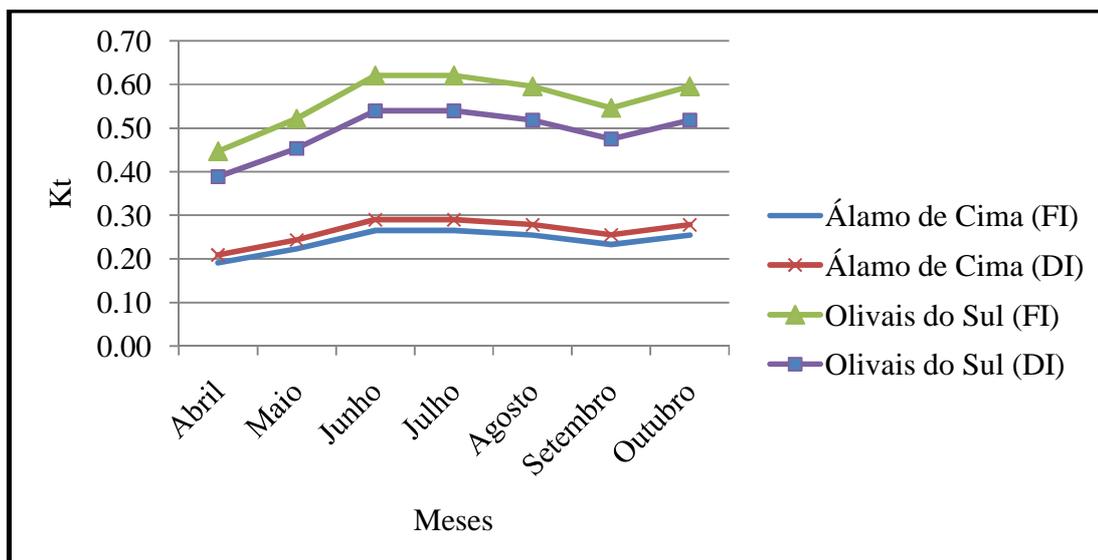


Gráfico 11: Valores de K_t pelo método de Testi

4.7. PRODUÇÃO DE AZEITONA

A produção final dos dois olivais apresenta – se no gráfico 12. A produção esperada por hectare do olival super-intensivo é em média de 16 t/ha (<http://www.olint.com/pt-br/sistema-olival-superintensivo>), sendo o esperado para o olival intensivo de 4 a 10 t/ha, de acordo com os dados apresentados em Baptista(2012).

Na herdade Olivais do Sul a produção foi maior para a modalidade FI (modalidade que recebeu maior quantidade de água no período de rega) com 18,7 t/ha contra 14,1 t/ha da modalidade DI. Estes valores estão próximos do rendimento médio deste regime de olival, o que sugere que a rega do regime hídrico FI não foi penalizante para o olival, aproximando-se do seu eventual potencial, não fora os défices hídricos do fim do ciclo de regas. Na herdade AC a modalidade que teve maior produção de frutos foi a DI com 2,45 t/ha contra os 1,78 t/ha da modalidade FI. Estes resultados já eram de esperar pois a modalidade DI foi a que recebeu maior quantidade de água de rega e a que transpirou mais, em relação a modalidade FI.

Os resultados da produção final de frutos corroboram os resultados do potencial hídrico, que mostraram que a rega fora deficitária em ambos os tratamentos, e que as plantas sofreram stresse hídrico durante praticamente todo período de rega, ainda que mais no tratamento FI na herdade Álamo de Cima.

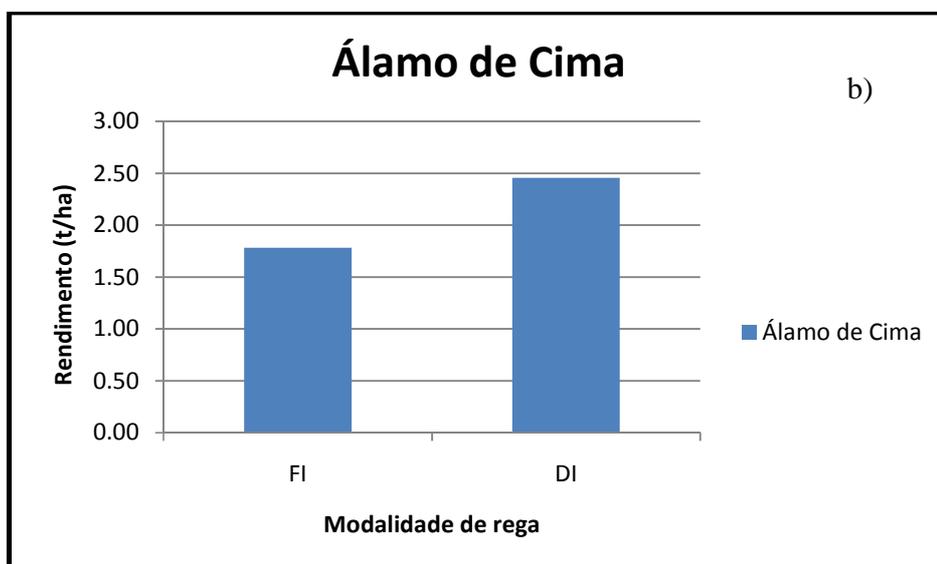
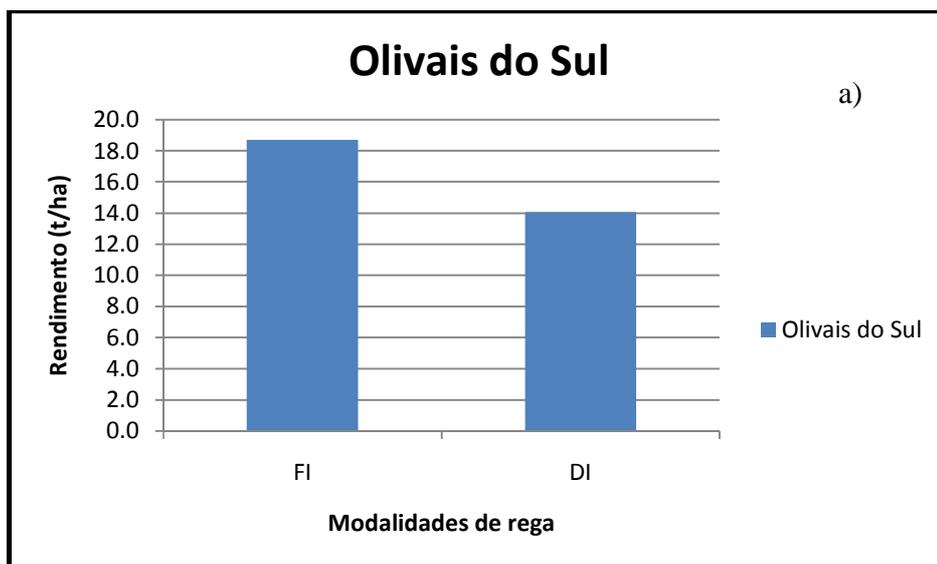


Gráfico 12: Produção dos olivais, a) OS_FI e OS_DI e b) AC_FI e AC_DI

5. CONCLUSÕES

Do presente trabalho conclui – se o seguinte:

- Quanto maior a quantidade de água fornecida a oliveira, maior tende a ser a sua transpiração, salvo no período estival em que a cultura reduz a sua actividade fisiológica com o fecho estomático, apresentando uma inversão nos valores de K_c que tomam a forma concâva, em U.
- Quando há défice hídrico na oliveira, a relação T/ET_o é baixa, pois esta relação depende da quantidade de água fornecida a planta.
- O método do balanço hídrico mostrou – se não muito eficaz para o cálculo da evapotranspiração cultural, devido a dificuldades inerentes ao método quando aplicado a culturas lenhosas.
- A relação entre o potencial hídrico e o RAW mostrou – se bastante robusta na detecção do stresse hídrico, sugerindo – se o seu possível uso para o desencadear das regas.
- O método de Testi demonstrou ser eficaz para o cálculo de coeficiente cultural de base (K_t) para o olival sob regime intensivo para o qual fora desenvolvido, mas não para o super - intensivo.
- A gestão da rega praticada pelo agricultor no olival super – intensivo mostrou – se adequada, originando elevada produção, de cerca de 18 t/ha, em consonância com os valores da bibliografia. A redução de débito e consequente uso da rega deficitária é de ter em conta nesse tipo de olival apenas quando haja falta de água de rega ou em anos bastante chuvosos no início do outono. Contudo é de ser usada com precaução.
- A gestão da rega praticada pelo agricultor no olival intensivo mostrou – se pouco adequada, produzindo défice hídrico ao longo de todo período de rega. É de considerar aumentos de dotação, como indicia o regime de rega praticado na modalidade DI, donde resultou ligeiro aumento de produção.

Conclusão

- A necessidade de continuar com os ensaios de rega praticados de modo a obter mais informação sobre os seus efeitos e daí extrapolar conclusões definitivas para a gestão de rega do olival intensivo e super – intensivo no Alentejo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. e Smith, M. 1998. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements.** *FAO Irrigation and Drainage Paper 56.* FAO, Rome.
- Baptista, F. O. 2012. **IJORNADAS DO OLIVAL TRADICIONALO: O olival e o desenvolvimento rural.** I. P. Acedidoa 6 de Junho de 2012 na web: http://www.rotaguadiana.org/uploads/files/20120529_062710_Apresentao_Fernando_Oliveira_Batista.pdf.
- Chartzoulakis, K.; Bosabadilis, A., Patakas, A. e Vemmos,S. 2000.**Effects of water stress on water relations, gas exchange and leaf structure of olive tree.** *Acta Horticulturae 537:* 241-247.
- Connor, D.J. e Fereres, E. 2005. The Physiology of Adaptation and Yield Expression in Olive. In: *Horticultural Reviews*, 31. Darnell, R., Ferguson, I.B. and Hokanson, S.C.(eds.), John Wiley and Sons, New Jersey, pp. 155-229.
- Doorenbos, J. e Kassam, A.H. 1979. **Yield reponse to water.** FAO Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Rome.
- Fernández, J.E. e Moreno, F. 1999. **Water Use by de olive tree. In: Water Use in Crop Production.** Kirkham, M.B. (ed.). Haworth Press, Binghamton, New York, pp. 101-162.
- Fernández, J.E., Moreno, F. e Martín-Aranda, J. 1993. **Water status of olive trees underdry-farming and drip-irrigation.** *Acta Horticulturae 335:* 157-164.
- Fernández, J.E., Moreno, F., Girón, I.F. e Blázquez, O.M. 1997. **Stomatal control of water use in olive tree leaves.** *Plant and Soil 190:* 179-192.
- Fernández, J.E., Palomo, M.J., Díaz-Espejo, A. e Girón, I.F. 2003. **Influence of partial soil wetting on water relation parameters of the olive tree.** *Agronomie 23:* 545-552.
- Giorio, P., Sorrentino, G. e 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:* 95-104.

- Goldhammer, D. A. e Fereres, E. 2001. **Simplified tree water status measurements can aid Almond irrigation**. California Agriculture Vol 55 No. 3 32-37.
- Green, S., Clothier, B., Jardine B. 2003. **Theory and practical application of heatpulse to measure sap flow**. Environment and Risk Management Group. Hort Search Institute. New Zeland.
- Green, S. 1998. **Measurements of Sap Flow by the Heat-Pulse Method**. Hort Research Institute. New Zealand.
- Hillel, D. 2004. **Introduction to environmental soil physics**. Elsevier Academic Press.
- http://www.edia.pt/edia/docs/emparcelamento/segundo_relatorio_CAMB.pdf. I. P. Acessado a 01 de Maio de 2012.
- <http://www.ementadeportugal.com/vinho-regioes-alentejo.php>. I.P. Acessado a 07 de Junho de 2012.
- <http://www.instrumentalia.com.ar/pdf/Invernadero.pdf>. I.P. Acessado a 19 de Agosto de 2012.
- <http://www.olint.com/pt-br/sistema-olival-superintensivo>. I.P. Acedido a 6 de Junho de 2012.
- Instituto Nacional de estatística. **Recenseamento Agrícola 2009. Análise dos principais resultados**. Edição 2011. Acedido em 23 de Junho 2012, no Web site do Instituto Nacional de estatística: <http://www.ine.pt>.
- Larsen, F.E., Higgins, S.S. e Al Wir, A. 1989. **Diurnal water relations of apple, apricot, grape, olive and peach in an arid environment (Jordan)**. *Scientia Horticulturae* 39: 211-222.
- Mariscal, M.J., Lavado, M., Moñino, M.J. e Prieto, M.H. 2000. **Olive tree (*Olea europaea* L. Cv. “Morisca”) response to sustained deficit irrigation in Extremadura**. *Acta Horticulturae* 537: 917-922.
- Mili, S. 2004. **Prospects for Olive Oil Marketing in Non-Traditional Markets**. AIEA2 International Conference “Sustainable Development and Globalisation of Agri-Food Markets” Laval University, Québec, Canada.

- Moreno, F., Fernández, E., Clothier, B.E. e Green, S.R. 1996. **Transpiration and root water uptake by olive trees.** *Plant and Soil* 184: 85-96.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, M. e Fereres, E. 2003. **Yield responses of a mature olive orchard to water deficits.** *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128: 425- 431.
- Moriana, A., Villalobos, F.J. e Fereres, E. 2002. **Stomatal and photosynthetic responses of (*Olea europaea* L.) Leaves to water deficits.** *Plant, Cell and Environment* 25, 395-405.
- Natali, S., Xiloyannis, C. e Angelini, P. 1985. **Water consumptive use of olive trees (*Olea europaea*) and effect of water stress on leaf water potential and diffusive resistance.** *Acta Horticulturae* 171: 341-351.
- Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F.J. e Fereres, E. 2006. **Water requirements of olive orchards-II: determination of crop coefficients for irrigation scheduling.** *Irrigation Science* 24: 77-84.
- Petillo, M. G. e Castel, J. R. 2007. **Water balance and crop coefficient estimation of a citrus orchard in Uruguay.** *Spanish Journal of Agricultural Research* (2), 232-243.
- Pinheiro, A. C.; Correia, T.; Peça, J. O.; Silva, L. L.; Dias, A. B. 2000. **Práticas de conservação de solos nos olivais;** Área departamental de ciências agrárias – Universidade de Évora; 15 p.
- Ramos, A.F. & Santos, F.L. 2009. **Water use, transpiration, and crop coefficients for olives (cv. Cordovil), grown in orchards in Southern Portugal.** *Biosystems engineering* 102: 321–333.
- Rodrigues, P. 2011. **Influência do regime hídrico e da rega no comportamento da casta touriga nacional na região do dão.** Dissertação de doctoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.
- Santos, F. L.; Valverde, P. C.; Ramos, Alice 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.

- Silva, A. A. F. 2008. **Necessidades hídricas e resposta da oliveira (*oleaeuropaea* L.) ao deficit hídrico na região da terra quente.** Dissertação de doctoramento, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila real, 251 p.
- Struzik, P. 2001. **Meteorological applications for agriculture.** Possibilities for use of satellite information as an input for CROPWAT software - preliminary study. 3-rd Management Committee and Working Groups Meeting. Budapest, Hungary. Acedido em 04 de Julho de 2012 na web: http://agromet-cost.bo.ibimet.cnr.it/fileadmin/cost718/repository/Buda_Cropwat.pdf.
- Testi, L., Villalobos, F.J., Orgaz, F. e Fereres, E. 2006. **Water requirements of olive orchards:** I simulation of daily evapotranspiration for scenario analysis. *Irrigation Science* 24: 69-76.
- Tognetti, R., d'Andria, R., Lavini, A. e Morelli, G. 2006. **The effect of deficit irrigation on crop yield and vegetative development of *Olea europaea* L. (cvs. Frantoio and Leccino).** *European Journal of Agronomy* 25: 356-364.
- Valverde, P. M. C. 2005. **Medição e Modelação da Transpiração e evapotranspiração em Olivais Regados.** Licenciatura em Engenharia de Recursos Hídricos. Universidade de Évora. 120 p.
- Villalobos, F.J., Orgaz, F., Testi, L. e Fereres, E. 2000. **Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) Orchards.** *European Journal of Agronomy* 13: 155-163.
- Xiloyannis, C., Dichio, B., Nuzzo, V. e Celano, G. 1999. **Defense strategies of olive against water stress.** *Acta Horticulturae* 474: 423-426.
- Zeleke, K. T. e Wade, L. J. **Evapotranspiration Estimation Using Soil Water Balance, Weather and Crop Data.** School of Agricultural and Wine Sciences, EH Graham Centre for Agricultural Innovation, Charles Sturt University, Australia. Acedido em 04 de Julho de 2012 na web: <http://www.intechweb.org/books/show/title/evapotranspiration-remote-sensing-and-modeling>.

7. ANEXOS

Anexo 1: Rega das herdades Olivais do Sul e Álamo de Cima

Rega das herdades Olivais do Sul

Data	Nº de horas de rega	(FI) ou Rega do Agricultor		(DI) ou Rega a Testar	
		Caudal por got (l/h)	FI_Débito em mm	Caudal por got (l/h)	DI_Débito em mm
01/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
02/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
03/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
04/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
05/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
06/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
07/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
08/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
09/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
10/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
11/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
12/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
13/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
14/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
15/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
16/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
17/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
18/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
19/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
20/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
21/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
22/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
23/05/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
24/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
25/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82

26/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
27/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
28/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
29/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
30/05/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
31/05/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
01/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
02/06/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
03/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
04/06/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
05/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
06/06/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
07/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
08/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
09/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
10/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
11/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
12/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
13/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
14/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
15/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
16/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
17/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
18/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
19/06/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
20/06/2011	3	2,3	2,73	2,30	2,73
21/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
22/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
23/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
24/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
25/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
26/06/2011		2,3	0,00	2,30	0,00
27/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63

28/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
29/06/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
30/06/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
01/07/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
02/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
03/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
04/07/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
05/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
06/07/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
07/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
08/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
09/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
10/07/2011	2	2,3	1,82	2,30	1,82
11/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
12/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
13/07/2011	4	2,3	3,63	2,30	3,63
14/07/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
15/07/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
16/07/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
17/07/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
18/07/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
19/07/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
20/07/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
21/07/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
22/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
23/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
24/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
25/07/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
26/07/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
27/07/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
28/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
29/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
30/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90

31/07/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
01/08/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
02/08/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
03/08/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
04/08/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
05/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
06/08/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
07/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
08/08/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
09/08/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
10/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
11/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
12/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
13/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
14/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
15/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
16/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
17/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
18/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
19/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
20/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
21/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
22/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
23/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
24/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
25/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
26/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
27/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
28/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
29/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
30/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
31/08/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
01/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26

02/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
03/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
04/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
05/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
06/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
07/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
08/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
09/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
10/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
11/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
12/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
13/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
14/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
15/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
16/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
17/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
18/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
19/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
20/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
21/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
22/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
23/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
24/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
25/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
26/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
27/09/2011	2	2,3	1,82	1,60	1,26
28/09/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
29/09/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
30/09/2011	3	2,3	2,73	1,60	1,90
01/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
02/10/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
03/10/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
04/10/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53

05/10/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
06/10/2011	4	2,3	3,63	1,60	2,53
07/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
08/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
09/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
10/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
11/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
12/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
13/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
14/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
15/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
16/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
17/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
18/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
19/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
20/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
21/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
22/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
23/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
24/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
25/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
26/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
27/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
28/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
29/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
30/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
31/10/2011		2,3	0,00	1,60	0,00
Total			305,30		255,80

Álamo de Cima

		(FI) ou Rega do Agricultor		(DI) ou Rega a Testar	
Data	Nº de horas de rega	Caudal por got (l/h)	Débito em mm	Caudal por got (l/h)	Débito em mm
01/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
02/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
03/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
04/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
05/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
06/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
07/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
08/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
09/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
10/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
11/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
12/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
13/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
14/04/2011	16	1,6	3,048	1,6	3,048
15/04/2011	17	1,6	3,238	1,6	3,238
16/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
17/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
18/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
19/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
20/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
21/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
22/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
23/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
24/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
25/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
26/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
27/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762

28/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
29/04/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
30/04/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
01/05/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
02/05/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
03/05/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
04/05/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
05/05/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
06/05/2011	4	1,6	0,762	1,6	0,762
07/05/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
08/05/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
09/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
10/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
11/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
12/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
13/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
14/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
15/05/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
16/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
17/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
18/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
19/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
20/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
21/05/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
22/05/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
23/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
24/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
25/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
26/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
27/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
28/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
29/05/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
30/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917

31/05/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
01/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
02/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
03/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
04/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
05/06/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
06/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
07/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
08/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
09/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
10/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
11/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
12/06/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
13/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
14/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
15/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
16/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
17/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
18/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
19/06/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
20/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
21/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
22/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
23/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
24/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
25/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
26/06/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
27/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
28/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
29/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
30/06/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
01/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
02/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917

03/07/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
04/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
05/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
06/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
07/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
08/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
09/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
10/07/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
11/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
12/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
13/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
14/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
15/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
16/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
17/07/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
18/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
19/07/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
20/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
21/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
22/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
23/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
24/07/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
25/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
26/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
27/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
28/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
29/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
30/07/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
31/07/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
01/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
02/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
03/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
04/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333

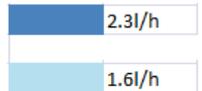
05/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
06/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
07/08/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
08/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
09/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
10/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
11/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
12/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
13/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
14/08/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
15/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
16/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
17/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
18/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
19/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
20/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
21/08/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
22/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
23/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
24/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
25/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
26/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
27/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
28/08/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
29/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
30/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
31/08/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
01/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
02/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
03/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
04/09/2011		1,6	0,000	1,6	0,000
05/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
06/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333

07/09/2011	7	1,6	1,333	1,6	1,333
08/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
09/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
10/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
11/09/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
12/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
13/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
14/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
15/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
16/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
17/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
18/09/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
19/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
20/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
21/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
22/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
23/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
24/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
25/09/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
26/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
27/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
28/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
29/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
30/09/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
01/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
02/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
03/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
04/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
05/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
06/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
07/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
08/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
09/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000

10/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
11/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
12/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
13/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
14/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
15/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
16/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
17/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
18/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
19/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
20/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
21/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
22/10/2011	7	1,6	1,333	2,3	1,917
23/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
24/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
25/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
26/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
27/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
28/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
29/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
30/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
31/10/2011		1,6	0,000	2,3	0,000
Total			201,905		253,821

Anexo 2: Calendário das mudanças de rega nos tratamentos DI de Olivais do Sul e Álamo de Cima

Tratamento DI - Olivais do Sul																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Janeiro																															
Fevereiro																															
Março																															
Abril																															
Maio																															
Junho																															
Julho																															
Agosto																															
Setembro																															
Outubro																															
Novembro																															
Dezembro																															



Tratamento DI - Álamo de Cima																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Janeiro																															
Fevereiro																															
Março																															
Abril																															
Maio																															
Junho																															
Julho																															
Agosto																															
Setembro																															
Outubro																															
Novembro																															
Dezembro																															

Anexo 3: Caracterização dos solos

Textura dos solos da herdade Álamo de Cima

Profundidade (cm)	Fração	Percentagem (%)
0 - 15	Areia grossa	31,76
	Areia fina	22,34
	Limo	15,77
	Argila	30,13
15 - 40	Areia grossa	29,97
	Areia fina	21,64
	Limo	16,13
	Argila	32,26
40 - 65	Areia grossa	47,84
	Areia fina	23,42
	Limo	12,20
	Argila	16,54
65 - 90	Areia grossa	48,68
	Areia fina	23,53
	Limo	12,46
	Argila	15,33

Valores de humidade volumétrica adiferentes valores de pF no Álamo de Cima

Nº do anel	Tara do anel (g)	Volume do anel (ml)	pF 0 (% hum)	pF 1 (% hum)	pF 2,0 (% hum)	pF 2,54 (% hum)	pF 3,0 (% hum)	pF 4,2 (% hum)	Dap
144	144,186	99,2	0	0	20,33	16,43	0	12,18	1,48
113	143,424	99,2	0	0	20,52	17,18	0	13,38	1,41
201	137,055	99,2	0	0	20,36	17,7	0	13,45	1,62
2	143,509	99,2	0	0	20,66	17,85	0	13,88	1,57

Anexo 4:Produção Final

Olivais do Sul

FI			
	Peso (Kg)		
Árvore	Nascente	Poente	Total
1	3,90	7,45	11,35
2	4,35	3,40	7,75
3	4,65	5,05	9,70
4	5,05	3,90	8,95
5	4,90	3,40	8,30
6	4,05	4,85	8,90
7	5,45	4,76	10,21
8	3,15	7,65	10,80
9	6,65	2,95	9,60
10	3,60	5,05	8,65
11	5,00	6,50	11,50
12	4,30	3,65	7,95
Média			9,47
Rendimento (T/ha)			18,7

DI			
	Peso (Kg)		
Árvore	Nascente	Poente	Total
1	2,95	4,50	7,45
2	2,85	3,75	6,60
3	5,10	2,65	7,75
4	3,75	4,00	7,75
5	5,25	2,80	8,05
6	2,70	3,40	6,10
7	4,35	3,60	7,95
8	2,95	3,95	6,90
9	3,75	4,95	8,70
10	3,00	2,50	5,50
11	4,25	3,15	7,40
12	3,35	2,05	5,40
Média			7,13
Rendimento (T/ha)			14,1

Álamo de Cima

FI			
	Peso (Kg)		
Árvore	Nascente	Poente	Total
1	2,30	4,35	6,65
2	1,60	3,05	4,65
3	1,70	1,95	3,65
4	3,10	2,75	5,85
5	2,05	5,80	7,85
6	5,35	10,55	15,90
7	1,25	6,35	7,60
8	1,30	2,75	4,05
9	3,25	3,25	6,50
10	1,15	2,85	4,00
11	0,55	2,85	3,40
12	1,60		1,60
Média			5,98
Rendimento (T/ha)			1,78055
	Faltou esta pesagem		

DI			
	Peso (Kg)		
Árvore	Nascente	Poente	Total
1	3,25	4,58	7,83
2	2,65	8,75	11,40
3	2,65	1,75	4,40
4	5,05	5,95	11,00
5	0,50	0,90	1,40
6	3,65	4,45	8,10
7	4,35	12,40	16,75
8	3,20	4,70	7,90
9	0,80	3,25	4,05
10	8,35	7,20	15,55
11	2,15	4,30	6,45
12	2,15	1,85	4,00
Média			8,24
Rendimento (T/ha)			2,454278

Anexo 5: Cálculos envolvidos no método do balanço hídrico do solo, para a obtenção de ETc

OS_FI

Data	Armazenamento (0-60cm)	Varição do armazenamento	Rega (R)	Precipitação acumulada (P)	Precipitação efectiva	ETo acumulado	Kc (Tabelado)	R+P	ETc média	ETc	Intervalo de dias
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)	(mm)	(dias)
31-03-2011	170,9		0,0					0,0		0,0	
14-04-2011	134,6	-36,4	0,0	0,8	0,00	3,8	0,60	0,0	2,6	36,4	14
26-04-2011	189,7	55,1	0,0	100	70,00	3,2	0,60	70,0	1,9	22,8	12
11-05-2011	177,8	-11,9	7,269	12,4	2,44	4,0	0,55	9,7	2,2	33,3	15
24-05-2011	157,6	-20,3	19,081	34,5	16,77	2,4	0,55	35,8	1,3	17,2	13
07-06-2011	151,7	-5,9	17,264	37,9	18,65	5,0	0,50	35,9	2,5	34,8	14
28-06-2011	125,9	-25,8	53,610	0,2	0,00	6,5	0,50	53,6	3,8	79,4	21
06-07-2011	126,3	0,4	21,807	0	0,00	6,4	0,45	21,8	2,7	21,4	8
21-07-2011	116,4	-9,9	39,980	0	0,00	7,4	0,45	40,0	3,3	49,9	15
05-08-2011	120,4	4,0	23,625	8,8	0,28	6,3	0,45	23,9	2,8	42,3	15
31-08-2011	117,4	-3,0	47,249	0,6	0,00	5,6	0,45	47,2	1,9	50,3	26
21-09-2011	119,4	2,0	38,163	31,8	12,08	4,1	0,55	50,2	2,3	47,5	21
Total		-51,5	268,0	227,0	120,22			388,3		435,1	

OS_DI

Data	Armazenamento (0-60cm)	Varição do armazenamento	Rega (R)	Precipitação acumulada (P)	Precipitação efectiva	ETo acumulado	Kc (Tabelado)	R+P	ETc média	ETc	Intervalo de dias
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)	(mm)	(dias)
14-04-2011	180,4		0,0		0,0			0,0	0,8	0,0	
26-04-2011	206,8	26,4	0,0	100	70,00	3,2	0,60	70,0	1,9	22,8	12
11-05-2011	197,8	-9,0	7,269	12,4	2,44	4,0	0,55	9,7	2,2	33,3	15
24-05-2011	173,9	-23,9	19,081	34,5	16,77	2,4	0,55	35,8	1,3	17,2	13
07-06-2011	162,5	-11,4	17,264	37,9	18,65	5,0	0,50	35,9	2,5	34,8	14
28-06-2011	157,6	-4,9	53,610	0,2	0,00	6,5	0,50	53,6	2,8	58,5	21
06-07-2011	153,1	-4,5	21,807	0	0,00	6,4	0,45	21,8	3,3	26,3	8
21-07-2011	122,8	-30,3	35,002	0	0,00	7,4	0,45	35,0	4,4	65,3	15
05-08-2011	154,7	31,9	16,435	8,8	0,28	6,3	0,45	16,7	2,8	42,3	15
31-08-2011	110,3	-44,4	32,869	0,6	0,00	5,6	0,45	32,9	3,0	77,2	26
21-09-2011	117,7	7,4	26,548	31,8	12,08	4,1	0,55	38,6	2,3	47,5	21
Total		-62,7	229,9	226,2	120,2			350,1		412,8	

AC_FI

Data	Armazenamento (0-60cm)	Varição do armazenamento	Rega (R)	Precipitação acumulada (P)	Precipitação efectiva	ETo acumulado	Kc (Tabelado)	R+P	ETc média	ETc	Intervalo de dias
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)	(mm)	(dias)
14-04-2011	123,4		0,0		0,0		0,60	0,0		0,0	
27-04-2011	138,7	15,3	12,4	100	69,2	3,2	0,60	81,5	1,9	24,7	13
10-05-2011	148,8	10,1	8,0	12,4	3,1	4,0	0,55	11,1	2,2	28,9	13
25-05-2011	128,4	-20,5	17,3	34,5	15,7	2,4	0,55	33,0	1,3	19,8	15
02-06-2011	129,2	0,8	9,3	37,9	23,7	5,0	0,50	33,0	2,5	19,9	8
28-06-2011	120,9	-8,3	29,3	0,2	0,0	6,5	0,50	29,3	1,4	37,6	26
05-07-2011	146,3	25,4	8,0	0	0,0	6,4	0,45	8,0	-2,5	-17,4	7
20-07-2011	96,8	-49,5	17,3	0	0,0	7,4	0,45	17,3	4,5	66,8	15
04-08-2011	131,9	35,1	17,3	8,8	0,3	6,3	0,45	17,6	2,8	42,3	15
30-08-2011	106,2	-25,7	29,3	0,6	0,0	5,6	0,45	29,3	2,1	55,0	26
21-09-2011	141,1	34,8	25,3	31,8	11,7	4,1	0,55	37,1	2,3	49,7	22
Total		17,6	173,7	226,2	123,7			297,4		327,3	

AC_DI

Data	Armazenamento (0-60cm)	Varição do armazenamento	Rega (R)	Precipitação acumulada (P)	Precipitação efectiva	ETo acumulado	Kc (Tabelado)	R+P	ETc média	ETc	Intervalo de dias
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm/dia)		(mm)	(mm/dia)	(mm)	(dias)
14-04-2011	139,3			0	0,0		0,60	3,0			
27-04-2011	197,1	57,8	13,4	100	69,2	3,2	0,60	82,5	1,9	24,7	13
12-05-2011	175,1	-22,0	11,5	12,4	2,4	4,0	0,55	13,9	2,2	33,3	15
25-05-2011	188,7	13,6	24,9	34,5	16,8	2,4	0,55	41,7	1,3	17,2	13
02-06-2011	179,8	-8,9	13,4	37,9	23,7	5,0	0,50	37,1	2,5	19,9	8
28-06-2011	171,0	-8,8	42,2	0,2	0,0	6,5	0,50	42,2	2,0	50,9	26
05-07-2011	176,2	5,1	11,5	0	0,0	6,4	0,45	11,5	0,9	6,4	7
20-07-2011	188,3	12,1	24,3	0	0,0	7,4	0,45	24,3	0,8	12,2	15
04-08-2011	183,2	-5,1	17,3	8,8	0,3	6,3	0,45	17,6	2,8	42,3	15
30-08-2011	156,8	-26,4	29,3	0,6	0,0	5,6	0,45	29,3	2,1	55,7	26
21-09-2011	181,1	24,3	32,3	31,8	11,7	4,1	0,55	44,1	2,3	49,7	22
Total		41,8	220,2	226,2	124,1			347,3		312,3	

Anexo 6: Sequência do cálculo para a obtenção do Kc segundo o método de Testi

	Volume da copa	Unidades	Volume da copa/m ²	Unidades	Fração CS	LAD	m ² folha/m ³ copa	Kr	Qd
Álamo de Cima (FI)	18,78	m ³ /arvore	0,56	m ³ /m ²	0,28	2,01	m ² /m ³	0,69	0,32
Álamo de Cima (DI)	21,02	m ³ /arvore	0,63	m ³ /m ²	0,31	1,99	m ² /m ³	0,69	0,35
Olivais do Sul (FI)	3,48	m ³ /arvore	0,69	m ³ /m ²	0,30	2,17	m ² /m ³	2,03	0,75
Olivais do Sul (DI)	2,65	m ³ /arvore	0,52	m ³ /m ²	0,25	2,17	m ² /m ³	2,03	0,65

	Valores de Kt=Kcb						
	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Álamo de Cima (FI)	0,19	0,22	0,27	0,27	0,25	0,23	0,25
Álamo de Cima (DI)	0,21	0,24	0,29	0,29	0,28	0,26	0,28
Olivais do Sul (FI)	0,45	0,52	0,62	0,62	0,60	0,55	0,60
Olivais do Sul (DI)	0,39	0,45	0,54	0,54	0,52	0,47	0,52

	Valores de Ks						
	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Álamo de Cima (FI)	0,37	0,29	0,09	0,02	0,10	0,21	0,34
Álamo de Cima (DI)	0,36	0,29	0,09	0,01	0,09	0,21	0,34
Olivais do Sul (FI)	0,40	0,22	0,07	0,01	0,07	0,16	0,26
Olivais do Sul (DI)	0,41	0,23	0,07	0,02	0,08	0,17	0,26
Ks min	0,09	0,07	0,05	0,04	0,05	0,08	0,12

Mês	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
-----	-------	-----	-------	-------	--------	----------	---------

i	1	1	1	1	1	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---

	Valores de Kg						
	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Álamo de Cima (FI)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Álamo de Cima (DI)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Olivais do Sul (FI)	0,00	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Olivais do Sul (DI)	0,00	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41

	Valoresde Kc						
Álamo de Cima (FI)	0,48	0,40	0,20	0,15	0,20	0,32	0,45
Álamo de Cima (DI)	0,47	0,39	0,19	0,15	0,20	0,31	0,44
Olivais do Sul (FI)	0,40	0,63	0,48	0,46	0,48	0,57	0,67
Olivais do Sul (DI)	0,41	0,64	0,49	0,46	0,49	0,58	0,68