



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Catarina Martins da Pena

Avaliação da metodologia do coeficiente dual para o
cálculo das necessidades hídricas na *Actinidia deliciosa*

Mestrado em Engenharia Agronómica

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Isabel Valín Sanjiao

Trabalho efetuado sob a co-orientação do
Professor Doutor Javier José Cancela Barrio

Refoios do Lima, novembro de 2023

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT.....	IV
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE QUADROS.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO.....	1
1.2. O CULTIVO DA ACTINÍDEA.....	3
1.2.1. IMPORTÂNCIA ECONÓMICA DA CULTURA.....	3
1.2.2. IMPORTÂNCIA ALIMENTAR DO KIWI	8
1.2.3. MORFOLOGIA.....	9
1.2.4. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS.....	11
1.2.5. EXIGÊNCIAS EDÁFICAS	11
1.2.6. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA.....	12
1.2.7. FENOLOGIA E CICLO VEGETATIVO.....	12
1.2.8. SISTEMA DE PRODUÇÃO NA REGIÃO ENTRE DOURO E MINHO.....	13
1.2.9. PRINCIPAIS PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS	16
1.3. SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS	18
1.3.1. BALANÇO DA ÁGUA NO SOLO	19
1.3.2. O MÉTODO DO COEFICIENTE DUAL	22
1.3.3. MODELOS DE SIMULAÇÃO DO BALANÇO DA ÁGUA NO SOLO.....	23
1.3.4. MODELO SIMDUALKC.....	23

1.4.	OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	29
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	31
2.1.	CARACTERIZAÇÃO DO POMAR.....	31
2.2.	CARACTERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DO LOCAL.....	31
2.3.	CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO.....	33
2.3.1.	SOLO	34
2.3.2.	CLIMA	34
2.3.3.	CULTURA.....	35
2.3.4.	REGA.....	36
2.3.5.	ESCORRIMENTO, PERCOLAÇÃO EM PROFUNDIDADE, ASCENSÃO CAPILAR E COBERTO VEGETAL.....	36
2.4.	CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO	38
2.4.1.	MEDIÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO	39
3.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	41
3.1.	CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS E AVALIAÇÃO DO MODELO	41
3.2.	COEFICIENTES BASAIS CULTURAIS E DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO.....	45
3.3.	COMPONENTES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DO BALANÇO HÍDRICO.....	47
3.3.1.	IMPACTO DO LENÇOL FREÁTICO NO BALANÇO HÍDRICO	50
4.	CONCLUSÃO	52
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
	ANEXOS.....	63

AGRADECIMENTOS

O trabalho que desenvolvi e que apresento neste documento não seria possível sem o apoio e a inspiração de várias pessoas a quem quero gratificar.

Em primeiro lugar, à Diretora da Escola Superior Agrária (ESA), a Professora Doutora Maria Isabel Valin Sanjiao, pela orientação deste trabalho. Apesar de todas as funções exercidas na ESA, nunca deixou de me apoiar e orientar indo ao encontro dos meus objetivos e aspirações.

Agradeço também ao meu co-orientador Professor Doutor Javier José Cancela Barrio por todo o conhecimento passado, pela enorme disponibilidade demonstrada e pela ajuda incansável com o modelo SIMDualKc.

Por fim, um agradecimento à minha família que me apoiou incondicionalmente e permitiu conciliar uma vida profissional com todo o Mestrado em Engenharia Agronómica. No entanto, mais do que esse apoio, os meus pais enquanto agricultores e o meu marido companheiro de vida, foram sobretudo a minha maior inspiração para a realização deste mestrado que se concluiu com o trabalho apresentado neste documento.

Este trabalho foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Regional Norte 2020, no âmbito do Projeto Tecnologia, Ambiente, Criatividade e Saúde, Norte-01-0145-FEDER-000043.

RESUMO

A cultura da actinídea (*Actinidia deliciosa*) é relativamente recente em Portugal, no entanto, tem vindo a despertar o interesse dos produtores nacionais. O fruto da actinídea, o kiwi, é nutricionalmente muito interessante, pois é rico em vitamina C e outros macro e micronutrientes essenciais à vida humana. Aliado a um baixo aporte calórico, o kiwi tem suscitado um interesse crescente quer nos consumidores nacionais, quer nos internacionais. Esta cultura é originária dos bosques e vales do rio Yang-Tse-Kiang na China. Desta forma, para produzir um fruto de qualidade e elevada produtividade, a actinídea necessita de estar constantemente em conforto hídrico, sem que exista encharcamento das raízes. Esta característica, associada à crescente necessidade de água que se tem sentido na maioria das regiões do globo, faz com que uma eficiente gestão dos recursos hídricos seja fundamental na sustentabilidade e sucesso da cultura.

Motivado por este cenário, este trabalho teve como objetivo estudar as características da cultura da actinídea, em particular no que às suas necessidades hídricas diz respeito. Neste sentido, recorreu-se ao cálculo da evapotranspiração cultural (ET_c) da actinídea para as condições locais, aplicando a abordagem do coeficiente dual, através do modelo SIMDualKc. Neste estudo foi utilizado um pomar pertencente à empresa Kiwi GreenSun do qual, durante dois ciclos culturais (2021 e 2022) se recolheram dados de solo, clima e da cultura. A parcela em estudo situa-se em São Salvador de Briteiros (Guimarães) e foi dividida em dois tratamentos de rega, um denominado de rega completa, que equivalia à programação de rega aplicada pelo produtor e um segundo tratamento, rega deficitária, onde foi aplicada 50% da água do tratamento anterior. Durante os dois anos de estudo mediu-se o teor de água no solo, com recurso a uma sonda capacitiva multi-profundidade – Diviner 2000, que serviu para calibrar e validar o modelo do SIMDualKc. Desta calibração resultaram os seguintes coeficientes culturais basais (K_{cb}) iniciais, intermédios e finais: 0,2, 0,87 e 0,8, respetivamente. Os resultados dos indicadores de desempenho do modelo após a calibração foram de elevada qualidade para os tratamentos de 2022 e para a rega deficitária de 2021. Nos três tratamentos o modelo apresentou um coeficiente de determinação superior a 0,83, uma raiz quadrada do erro médio inferior a 8,81mm e uma eficiência do modelo superior a 74%. No tratamento da rega completa do ano de 2021, pensa-se ter existido uma fuga de água, pelo que os teores de água no solo

foram sempre muito próximos e a sua variância é escassamente explicada pelo modelo.

No balanço da água no solo a percentagem de água evaporada pelo solo e transpirada pela cultura face à ET_c foi muito semelhante nos 4 tratamentos e congruente com outros trabalhos publicados para a mesma cultura. Neste caso, a evaporação do solo representou aproximadamente 25% da água consumida, enquanto os restantes 75% foram resultado da transpiração da cultura. O terreno do pomar em estudo apresentava um lençol freático pouco profundo e problemas de ascensão capilar, pelo que o modelo SIMDualKc apresentou algumas dificuldades na modelação nestas condições.

Palavras-Chave:

Kiwi, evapotranspiração cultural, modelo SIMDualKc, balanço hídrico.

ABSTRACT

Actinidia's crop is relatively new in Portugal. However, it has been gaining interest of the local farmers. The fruit of Actinidia, the kiwifruit, is nutritionally very interesting, as it is rich in vitamin C and others essential macro and micronutrients for human life. Combined with its low-calorie content, kiwifruit is attracting an increasing interest from national and international consumers. Actinidia has its origins in the woods and valleys of Yang-Tse-Kiang River in China. Therefore, in order to produce quality fruits and high yields, the Actinidia needs to be constantly hydrated, without the roots becoming waterlogged. This characteristic, coupled with the growing need for water in most regions of the world, means that efficient water management is fundamental to the sustainability and success of the crop.

Motivated by this situation, the aim of this work was to study the characteristics of Actinidia crop, particularly its water necessities. Therefore, we used the Actinidia crop evapotranspiration (ET_c) calculation to local conditions applying the dual coefficients approach, through the SIMDualKc model. This study was carried out at an orchard belonging to the Kiwi GreenSun company where data from soil, climate and crop were collected, during two cultural seasons (2021 and 2022). The field under study is located in São Salvador de Briteiros (Guimarães), and it was divided in two irrigation treatments, one designated by total irrigation (quantity of water normally used at this orchard) and the other was called deficit irrigation (where 50% of total irrigation was applied). During these two years of study, it was measured the available soil water (ASW) with a multi-depth capacitance probe Diviner 2000, which served to calibrate and validate the SIMDualKc model. The results of this calibration were the following initial, mid-season and end-season basal crop coefficients (K_{cb}): 0,2, 0,87 and 0,8, respectively. Goodness-of-fit indicators related to the simulation of available soil water for 2022's treatments and for 2021's deficit irrigation treatment were good. In the three treatments, the resulting determination coefficient was above than 0,83, the root-mean-square-error was below than 8,81mm, and the model efficiency was above than 74%. In the complete irrigation of 2021, we believe that there may have been a water leak, since the ASW values in the soil were very close in all measurements and their variance is poorly explained by the model.

In the available soil water balance, the percentage of the soil water evaporation and of the crop transpiration in relation to ET_c were very similar between the 4 treatments and they were consistent with other studies published for the same crop. In this case, the soil water evaporation represented about 25% of water consumed, while the remaining 75% were result of crop transpiration. The orchard's field under study had a shallow water table and issues related to capillary rise, and the SIMDualKc model faced some difficulties in modelling under these conditions.

Keywords:

Kiwifruit, crop evapotranspiration, SIMDualKc model, available soil water balance.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

AC	Ascensão Capilar
<i>b</i>	Coeficiente de regressão
CN	<i>Curve Number</i>
DDA	Dia do ano
d_{ic}	Índice de Concordância
DP	Percolação em Profundidade
D_r	Depleção na zona da raiz
D_w	Profundidades do lençol freático
EAM	Erro Absoluto Médio
EM	Eficiência do Modelo
ERM	Erro Relativo Médio (ERM)
E_s	Evaporação do solo
ET_a	Evapotranspiração cultural real
ET_c	Evapotranspiração cultural
ET_o	Evapotranspiração de referência
f_c	Fração do solo sombreada pela cultura
f_{ew}	Fração de solo simultaneamente exposta e molhada
f_w	Fração de solo molhada pela rega
GCD	<i>Genova Double Curtain</i>
I	Rega
K_c	Coeficiente cultural
$K_{c\ act}$	Coeficiente cultural real
K_{cb}	Coeficiente cultural basal
$K_{cb\ coberto}$	Coeficiente cultural basal do coberto vegetal
$K_{cb\ fin}$	Coeficiente cultural basal médio da fase final do ciclo cultural
$K_{cb\ full}$	Coeficiente cultural basal em condições de cobertura total e corrigida para o clima
$K_{cb\ ini}$	Coeficiente cultural basal médio da fase inicial do ciclo da cultura
$K_{cb\ med}$	Coeficiente cultural basal médio da fase intermédia do ciclo da cultura
K_d	Coeficiente de densidade da copa das árvores
K_e	Coeficiente de evaporação da água do solo

K_r	Coeficiente de redução da evaporação
O	Valores Observados
p	Fração de esgotamento da água em conforto hídrico
P	Precipitação
θ_{FC}	Capacidade de campo
θ_{WP}	Coeficiente de emurchecimento permanente
R²	Coeficiente de determinação
RAW	Água facilmente disponível
REW	Água facilmente evaporável
RH_{min}	Humidade Relativa mínima
RQEM	Raiz Quadrada do Erro Médio
S	Valores Simulados
TAW	Água disponível total
T_c	Transpiração da cultura
TEW	Quantidade de água evaporável total
u₂	Velocidade do vento a 2 metros de altura
W_a	Armazenamento de água no solo
Z_e	Espessura da camada de evaporação do solo
Z_r	Espessura radicular

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Disponibilidade de água <i>per capita</i> (1000m ³ /ano) e por país (Fonte: UNEP, 2002).....	2
Figura 2 - Área e produção mundial de kiwi (Fonte: FAO, 2023).	4
Figura 3 - Área e produção de kiwi em Portugal (Fonte: Instituto Nacional de Estatística, 2023).	5
Figura 4 - Área e Produção de kiwi em Portugal (Fonte: Instituto Nacional de Estatística, 2021, 2023).....	5
Figura 5 - Países com maior volume de faturação em exportação de kiwi, entre 2011 e 2021 (Fonte: FAO, 2023).....	6
Figura 6 - Países com maior volume de faturação em importações de kiwi, entre 2011 e 2021 (Fonte: FAO, 2023).....	7
Figura 7 - Valor das exportações e importações de kiwis em Portugal (Fonte: FAO, 2023).....	7
Figura 8 - Flor masculina (Fonte: Spada & Marini, 2001).....	10
Figura 9 - Flor feminina (Fonte: Spada & Marini, 2001).....	10
Figura 10 - Corte longitudinal do kiwi e respetiva constituição (Fonte: Spada & Marini, 2001).....	11
Figura 11 - Estados fenológicos da <i>Actinidia deliciosa</i> cv. "Hayward" (adaptado de Salinero et al. 2009).....	13
Figura 12 - Sistemas de rega utilizados em pomares de kiwi: a. microaspersão; b. gota a gota.....	16
Figura 13 - Componentes do balanço de água no solo (Fonte: Ramos et al. (2016)).	21
Figura 14 – Fluxograma do modelo SIMDualKc, adaptado de Rosa et al. (2012 a). 24	
Figura 15 - Localização do pomar de kiwis em estudo.....	31

Figura 16 - Temperaturas médias mínimas, médias e máximas e das temperaturas absolutas mínimas e máximas registadas pela estação meteorológica de Braga entre 1981 e 2010 (Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera 2023).....	32
Figura 17 - Precipitação média e máxima mensal registada na estação meteorológica de Braga entre 1981 e 2010 (Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera 2023).	33
Figura 18 - Dados da ET_o , precipitação e humidade relativa mínima (HR_{min}) dos anos de 2021 e 2022, registados pela estação meteorológica associada ao pomar em estudo.	34
Figura 19 - Dados da ET_o , e velocidade do vento de 2021 e 2022, registados pela estação meteorológica associada ao pomar em estudo.	35
Figura 20 - Funcionamento de uma sonda capacitiva (Fonte: Sentek, 2023)	40
Figura 21 - Resultados da simulação e dos valores observados do teor de água no solo para os 4 tratamentos: a. rega deficitária 2022 (calibração), b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021, d. rega completa 2021.....	44
Figura 22 - Resultado da simulação relativos à precipitação, rega, K_{cb} , $K_{cb act}$ e K_e , relativos aos tratamentos: a. rega deficitária 2022, b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021 e d. rega completa 2021.....	46
Figura 23 - Valores diários da AC, DP e Esc calculados pelo modelo SIMDualKc, I e P diárias relativos aos tratamentos: a. rega deficitária 2022, b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021 e d. rega completa 2021.	49

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Valores nutricionais médios do kiwi de polpa verde, valores por 100g (Fonte: FoodData Central, 2023).....	8
Quadro 2 - Sintomas das principais pragas que afetam a cultura da actinídea (adaptado de Cacioppo, 1989; Carneiro et al., 2004; Félix et al., 2008).....	17
Quadro 3 - Sintomas das principais doenças que afetam a cultura da actinídea (adaptado de Cunty et al., 2015; Di Marco et al., 2000, 2004; Sofia, 2003).....	18
Quadro 4 - Valores indicativos dos teores de humidade à saturação (θ_{Sat}), capacidade de campo (θ_{FC}), coeficiente de emurchecimento permanente (θ_{WP}) e a água disponível total (TAW). (Fonte: Pereira et al. (2003))	20
Quadro 5 - Síntese dos principais estudos de calibração e validação do modelo SIMDualKc.....	29
Quadro 6 - Parâmetros culturais utilizados para dar início à calibração do modelo SIMDualKC	36
Quadro 7 - D_w de 2021 e 2022	37
Quadro 8 - Parâmetros de qualidade utilizados na validação do SIMDualKc por Rosa et al. (2012b).....	39
Quadro 9 - Valores padrão e calibrados dos parâmetros utilizados no SIMDualKc .	42
Quadro 10 - Indicadores de qualidade do ajustamento do modelo relativos à calibração e validação do modelo, usando os valores calibrados apresentados no Quadro 9.....	43
Quadro 11 - Componentes do balanço de água no solo calculados pelo modelo SIMDualKc, para os 4 tratamentos em estudo	48
Quadro 12 - Indicadores de qualidade do modelo relativos à calibração e validação do modelo para um lençol freático mínimo de 1,2 m.....	51
Quadro 13 - Caracterização do pomar em estudo	63

1. INTRODUÇÃO

A presente dissertação foi realizada no âmbito do segundo ano do mestrado em Engenharia Agronómica. Este trabalho foi desenvolvido em colaboração com a empresa Kiwi GreenSun, associação de produtores que tem como principais atividades a produção, armazenamento e comercialização de kiwi fresco.

Neste capítulo introdutório é realizado um enquadramento ao tema geral que motivou a dissertação. Segue-se a apresentação do trabalho de pesquisa desenvolvido no âmbito da cultura da actinídea e dos modelos de apoio à decisão na gestão dos recursos hídricos. Por fim, expõem-se as perguntas de investigação e os objetivos do trabalho.

1.1. ENQUADRAMENTO

A água é um recurso natural essencial à vida humana, para além de ser o maior constituinte do corpo humano, este recurso é fundamental na produção de alimentos. No entanto, este recurso tão precioso tem-se mostrado de cada vez mais escasso, o que é considerado por muitos um dos maiores problemas naturais do século XXI. Vulgarmente, define-se que uma região apresenta escassez de água quando a quantidade de água que tem à sua disposição é inferior a 1000 m³/pessoa/ano. Valores abaixo dos 2000 m³/pessoa/ano já são indicativos de que a região está sobre stress hídrico. No entanto, já existem várias regiões no mundo que apresentam quantidades de água disponível abaixo dos 500 m³/pessoa/ano, conforme se pode observar na Figura 1 (Pereira et al., 2009).

Para além da questão primordial da sobrevivência, a problemática da escassez de água gera problemas profundos nas sociedades, quer no âmbito social, como ambiental, económico e cultural. Sociedades que sofrem de escassez de água têm dificuldades muito maiores em áreas como a produção de alimentos, a produção industrial ou o turismo, o que pode afetar gravemente o seu processo de desenvolvimento, gerando pobreza (Pereira et al., 2009).

O desequilíbrio, que existe em tantas zonas do globo, entre a disponibilidade de água e a necessidade que existe da mesma, nomeadamente na agricultura, tem conduzido ao desenvolvimento de novas tecnologias que visam otimizar a utilização deste recurso. Uma eficiente e sustentável gestão dos recursos hídricos é fundamental para

reduzir a vulnerabilidade do setor agrícola às alterações climáticas e, em última análise, reduzir os riscos associados à disponibilidade e segurança alimentar (Pereira et al., 2020a; Pereira et al., 2009).

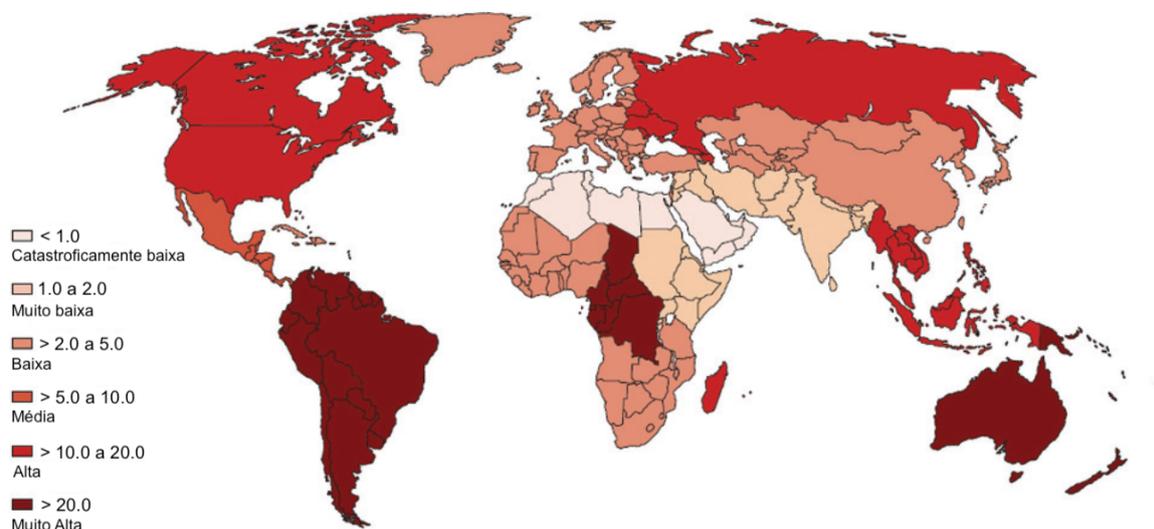


Figura 1 - Disponibilidade de água *per capita* (1000m³/ano) e por país (Fonte: UNEP, 2002).

A gestão sustentável da água ao nível das explorações agrícolas assume, assim, um papel de enorme relevância, nomeadamente ao nível da criação de calendários de rega que forneçam a informação de quando e quanto regar de forma a otimizar as produções agrícolas, minimizando o seu consumo de água. Neste âmbito têm sido apresentados, em várias conferências internacionais, modelos de simulação de calendários de rega. O sucesso destas ferramentas está intrinsecamente ligado à sua adaptação à cultura, ao clima e ao solo do local. No entanto, a adaptação destas ferramentas aos fatores sociais, económicos e institucionais também é fundamental ao seu sucesso (Pereira et al., 2020a).

O kiwi é um fruto que tem assumido uma importância crescente na economia nacional. A produção de kiwi em Portugal localiza-se nas regiões entre Douro e Minho e Beira Litoral numa área que já ultrapassa os 3500 hectares, que resultaram numa produção de aproximadamente 50 mil toneladas no ano de 2022 (Instituto Nacional de Estatística, 2023).

Esta cultura teve origem na China, nos bosques e vales do rio Yang-Tse-Kiang, que se caracteriza por ser uma região húmida. Desta forma se compreende que é uma

cultura muito exigente em água e, ao mesmo tempo, não tolera o encharcamento das raízes (Cacioppo, 1989).

1.2. O CULTIVO DA ACTINÍDEA

A actinídea pertence ao género *Actinidia*, estabelecido em 1821, incluído na ordem Theales e na família Actinidiaceae. Neste género estão identificadas 55 espécies e 20 variedades, das quais se destacam 3 pelo seu interesse comercial: *Actinidia deliciosa*, *Actinidia chinensis* e *Actinidia arguta* (Cacioppo, 1989; Ferguson, 2013).

A cultura da actinídea pensa-se ser originária da China, mais concretamente dos bosques e vales do rio Yang-Tse-Kiang. Nas províncias de Yunnan, Hupeh, Chikiang e Szechwan, onde era comum os seus habitantes colherem este fruto com aspeto de ovo, pele castanha e que depois das primeiras geadas se tornava doce e comestível. Na china este fruto era conhecido por “Mihoutao” (pêssego dos macacos). A primeira semente da *A. deliciosa* chegou à Nova Zelândia em 1904, e neste país este fruto foi designado por “Chinese gooseberry” (groselha chinesa). Em 1930 foi selecionada a cultivar “Hayward” da *A. deliciosa*, que ainda hoje é a cultivar mais vendida em todo o mundo. Os aspetos mais apreciados nesta cultivar são as suas dimensões, o seu sabor agradável e a sua grande capacidade de armazenamento, que pode chegar a 6 meses. No ano de 1953 a Nova Zelândia realizou a sua primeira exportação de *A. deliciosa*. Aquando da primeira exportação para os Estados Unidos, em 1959, este fruto foi batizado como “kiwifruit”, designação que permanece até à atualidade (Ferguson, 2013; Franco, 2008).

Na última década tem-se verificado a introdução de novas variedades da *A. chinensis*, uma das mais comercializadas é a “Hort16A” e produz um fruto de polpa amarela, mais doce e menos ácido que o fruto da “Hayward”. Esta variedade foi desenvolvida na Nova Zelândia pela HortResearch e registada em 1996 pela Zespri com a marca comercial Zespri™Gold. A internacionalização desta variedade teve início nos anos 2000 (Ferguson, 2013; Franco, 2008).

1.2.1. IMPORTÂNCIA ECONÓMICA DA CULTURA

Com o objetivo de perceber o impacto económico que a cultura da actinídea tem em Portugal e no mundo, apresenta-se uma análise da produção em área cultivada e quantidade (toneladas). Com foco no impacto económico das transações comerciais,

são ainda apresentados os valores dos maiores importadores e exportadores de kiwi e analisados os valores das exportações e importações em Portugal.

Produção

A cultura da actinídea teve a sua origem na China, que ainda hoje é o maior produtor mundial deste fruto, no entanto, foi a Nova Zelândia que valorizou comercialmente o kiwi iniciando a sua exportação. Perante este caso de sucesso, regiões com condições climáticas semelhantes iniciaram a produção deste fruto, despoletando a expansão da produção da actinídea pela América, Europa e também por outros países asiáticos para além da China, nomeadamente o Irão (FAO, 2023; Ferguson, 2013).

Segundo dados da FAO (2023), entre 2011 e 2021, verificou-se um aumento da área mundial de produção de kiwi de 39% e um aumento da sua produção de 35%. Os dados da área e produção mundial de kiwi entre 2011 e 2021 estão apresentados no gráfico da Figura 2. Nesta figura observam-se anos, principalmente o de 2013, em que o aumento da área de produção não foi proporcional ao aumento da produção, isto deveu-se, provavelmente, à instalação de novos pomares que ainda não tinham atingido a plena produção, que apenas é atingida ao quinto ano de vida do pomar.

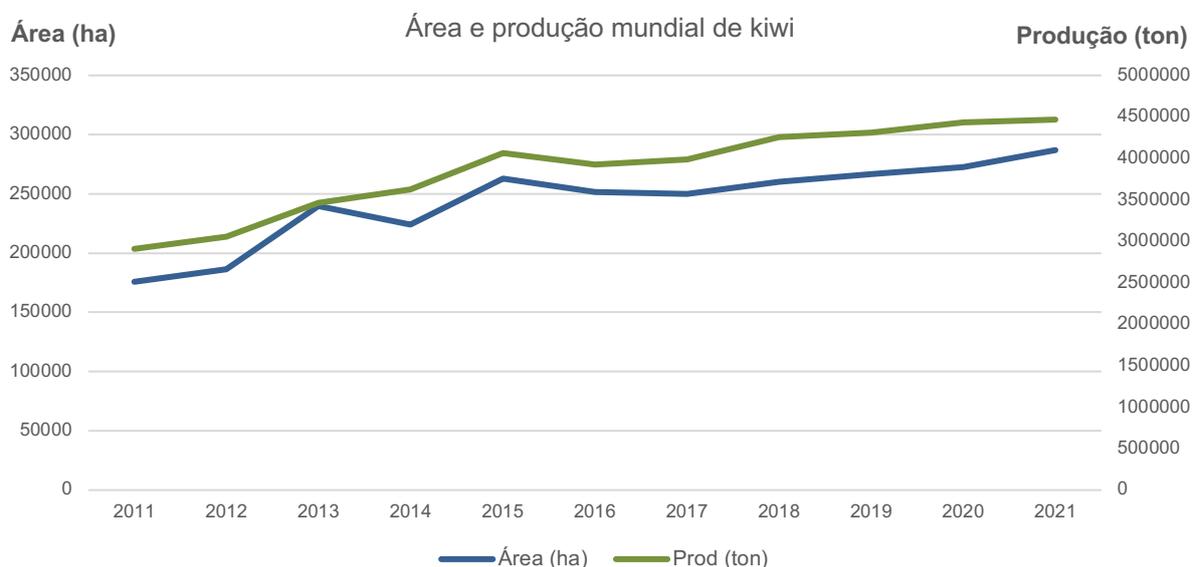


Figura 2 - Área e produção mundial de kiwi (Fonte: FAO, 2023).

Em Portugal, a cultura da actinídea foi introduzida em 1973 por Ponciano Monteiro, um advogado do Porto que, tendo provado o fruto em Paris, decidiu instalar a cultura na sua quinta, em Vila Nova de Gaia (Franco, 2008). Desde aí tem-se verificado uma

tendência crescente pela exploração desta cultura, principalmente desde o ano de 2012, conforme se pode observar no gráfico da Figura 3.

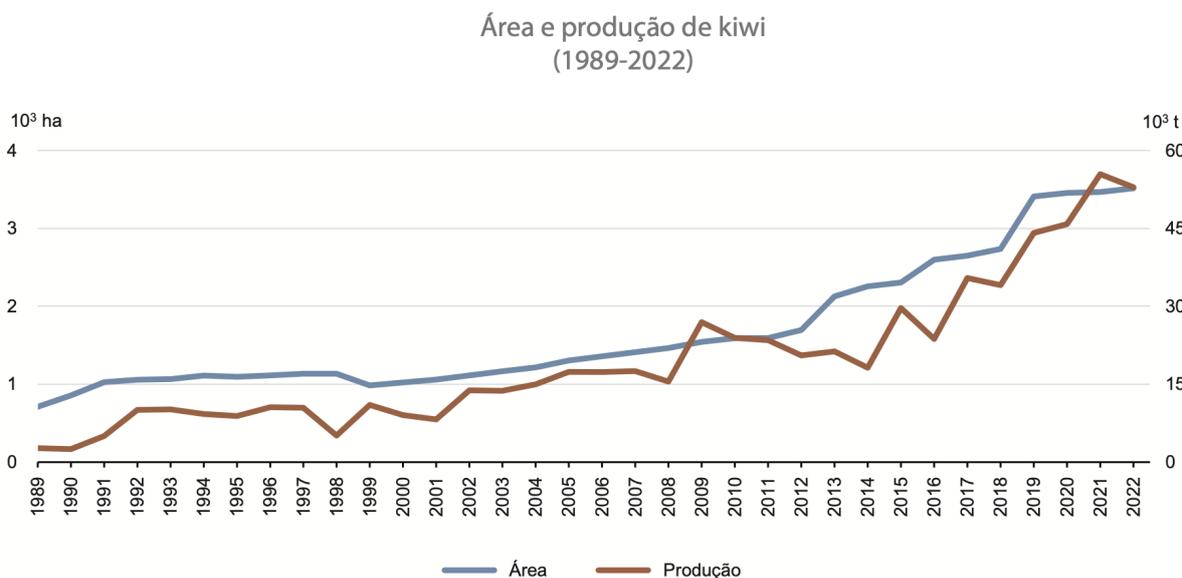


Figura 3 - Área e produção de kiwi em Portugal (Fonte: Instituto Nacional de Estatística, 2023).

As regiões mais favoráveis à produção de kiwi em Portugal são Entre Douro e Minho e a Beira Litoral (Franco, 2008). Segundo o Instituto Nacional de Estatística (2023) aproximadamente 74% da área de produção de kiwi em Portugal continental localiza-se na região Norte do país e 26% na região do centro, isto é, nas regiões da área metropolitana de Lisboa, Alentejo e Algarve a produção desta cultura é insignificante.

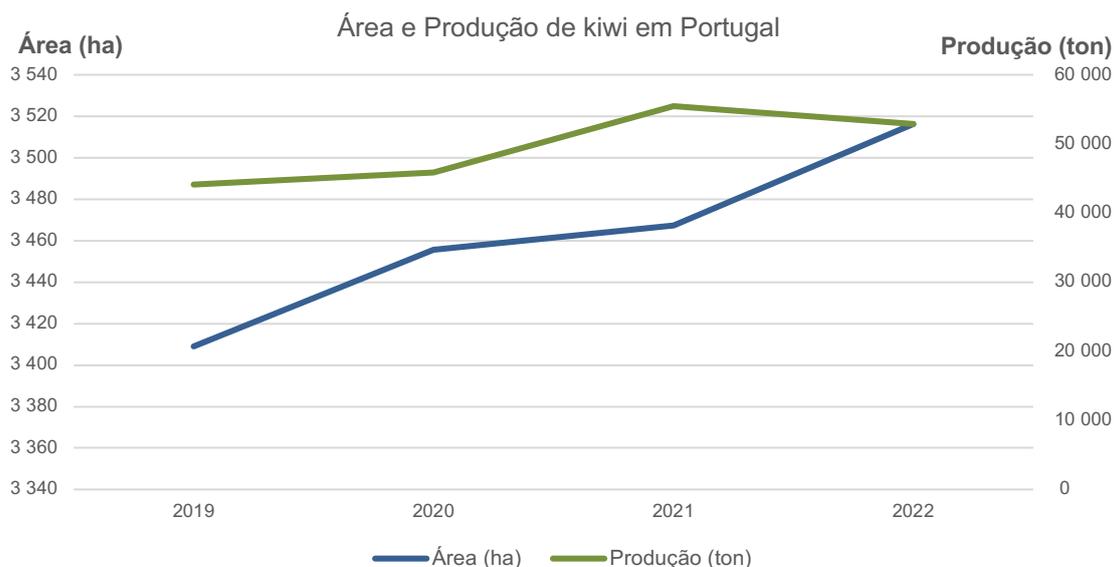


Figura 4 - Área e Produção de kiwi em Portugal (Fonte: Instituto Nacional de Estatística, 2021, 2023)

Em 2021 a produção de kiwi em Portugal ultrapassou as 55 mil toneladas (Figura 4), o que representou a maior produção desde que existem registos (Instituto Nacional de Estatística, 2023). Em contrabalanço, o ano de 2022 registou um ligeiro decréscimo na produção, apesar de a área de plantação ser maior. Mais uma vez, este facto pode ser explicado pela instalação de pomares novos.

Exportações e Importações

Segundo dados da FAO (2023) entre 2011 e 2021 foram faturados mais de 30 mil milhões de dólares em exportações de kiwi. O maior exportador foi a Nova Zelândia, este país representou 49% entre os 10 países com maior valor transacionado na exportação de kiwi, conforme se pode observar no gráfico da Figura 5.



Figura 5 - Países com maior volume de faturação em exportação de kiwi, entre 2011 e 2021 (Fonte: FAO, 2023).

A lista dos maiores importadores de kiwi é liderada pela China, representando 37% do valor transacionado pelos 10 países com maior volume de importações de kiwi, conforme se pode observar no gráfico da Figura 6.

Países com maior volume de importação de kiwi

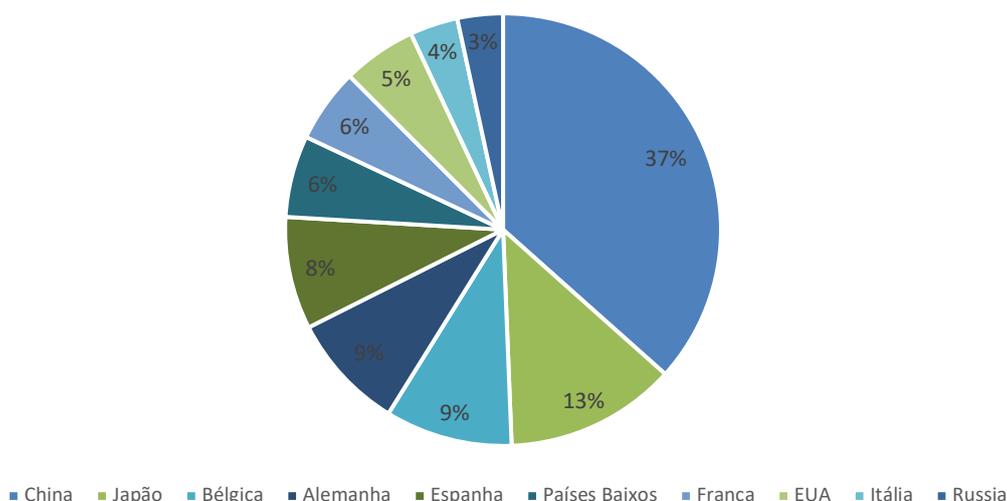


Figura 6 - Países com maior volume de faturação em importações de kiwi, entre 2011 e 2021 (Fonte: FAO, 2023).

A nível mundial Portugal foi o décimo segundo país com maior volume de exportação, perfazendo um valor próximo de 222 milhões de dólares, entre os anos de 2011 e 2021. Relativamente às importações, Portugal ficou em vigésimo quinto lugar com um valor ligeiramente superior a 182 milhões de dólares (FAO, 2023).

Exportações e Importação de kiwi em Portugal

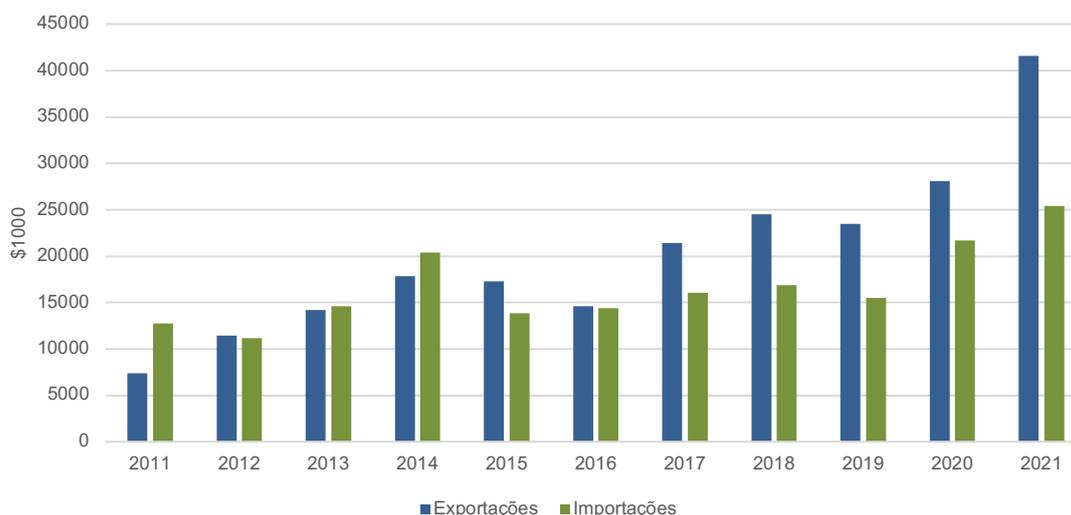


Figura 7 - Valor das exportações e importações de kiwis em Portugal (Fonte: FAO, 2023).

Como se pode observar no gráfico da Figura 7, desde o ano 2017 que o valor das exportações de kiwi em Portugal ultrapassa consistentemente o das importações. Destaque para o ano de 2021 em que o valor das exportações ultrapassou mesmo

os 40 milhões de dólares. Por outro lado, o valor das importações nacionais de kiwi não revela uma tendência tão vincadamente crescente, mas uma maior irregularidade nos anos em análise. A importação de kiwi realiza-se, na sua esmagadora maioria, nos meses de Verão e Outono que é quando já não existe kiwi nacional.

1.2.2. IMPORTÂNCIA ALIMENTAR DO KIWI

O kiwi é um fruto nutricionalmente muito interessante e o seu consumo diário pode trazer inúmeros benefícios para os seres humanos. Este fruto é rico em macro e micronutrientes, nomeadamente em fibras, vitaminas e potássio (Quadro 1). Tudo isto associado a um baixo aporte calórico, o que o torna uma opção ainda mais interessante para aqueles que desejam controlar o seu peso (Guroo et al., 2017).

O kiwi é uma das frutas com maior teor em vitamina C. Esta vitamina é essencial à saúde do sistema imunitário, ajuda na absorção do ferro a partir de fontes vegetais e atua como antioxidante, protegendo as células do corpo contra danos causados pelos radicais livres (Ferguson, 2013; Satpal et al., 2021).

A fonte de fibras que o kiwi representa é outra das particularidades deste fruto, uma vez que estas são cruciais para a saúde digestiva. As fibras auxiliam na regulação do trânsito intestinal, promovendo a saúde do cólon (Satpal et al., 2021).

Quadro 1 - Valores nutricionais médios do kiwi de polpa verde, valores por 100g (Fonte: FoodData Central, 2023)

Macronutrientes e energia		Micronutrientes			
Água (g)	83,1	Cálcio (mg)	34	Vitamina C (mg)	92,7
Energia (kcal/kJ)	61/255	Ferro (mg)	0,31	Vitamina K (µg)	40,3
Proteína (g)	1,14	Magnésio (mg)	17	Vitamina E (mg)	1,46
Lípidos (g)	0,52	Fósforo (mg)	34	Vitamina A (IU)	87
Hidratos de carbono (g)	14,7	Potássio (mg)	312		
Fibras (g)	3	Folato (µg)	25		
Açúcares totais (g)	8,99				

Além da vitamina C, o kiwi contém outros antioxidantes, como a vitamina E e compostos fenólicos, que combatem o stress oxidativo no corpo, ajudando a prevenir

doenças crónicas e melhorando a saúde da pele. O kiwi é também uma significativa fonte de potássio, nutriente de elevada importância na saúde cardiovascular, uma vez que regula a pressão arterial e equilibra os fluidos do corpo (Satpal et al., 2021).

1.2.3. MORFOLOGIA

O **sistema radicular** da actinídea é caracterizado por raízes pouco profundas, mas muito robustas e ramificadas. A maior parte das raízes desta planta encontra-se nos primeiros 50-60 cm do solo, no entanto, dependendo da natureza deste e das condições culturais, podem chegar a profundidades de mais de quatro metros. Desta forma, a actinídea necessita de solos frescos e bem arejados, com pH subácido (6,0-6,5) e bem providos de matéria orgânica (acima de 4%) (Cacioppo, 1989; Neves, 2008).

A actinídea apresenta uma estrutura perene trepadeira, com ramos flexíveis e lenhosos que podem atingir entre 5 a 7 metros ou até mais em algumas espécies (Ferguson, 1984). Os ramos das plantas jovens apresentam um aspeto herbáceo e um rápido crescimento. Nesta fase, os **caules** da actinídea possuem um sistema vascular eficiente, com valores médios de condutividade hidráulica que permitem o transporte de grandes quantidades de água através das folhas, desde que esta se encontre disponível (Dichio et al., 1999).

Nestas plantas, o crescimento vegetativo dá origem aos **ramos**, que resultam de uma sucessão de nós e entrenós. Cada nó contempla uma folha e um gomo dormente na sua axila (Neves, 2008).

As **folhas** da actinídea são caducifólias, de uma forma geral, de cor verde, formato oval, por vezes quase circular, pilosas na página inferior e uma superfície superior brilhante. As bordas são serrilhadas ou onduladas e as nervuras são salientes na parte inferior da folha (Cacioppo, 1989; Neves, 2008).

A actinídea é uma espécie dioica, o que significa que existem plantas que possuem apenas **flores** femininas e outras que apenas desenvolvem flores masculinas. Factualmente as flores desta cultura são morfológicamente hermafroditas, no entanto, fisiologicamente são unissexuais. As flores da actinídea surgem na axila das folhas e agrupam-se em inflorescências, constituídas por 5 ou mais pétalas brancas, amarelas ou rosadas (dependendo da espécie). As flores masculinas apresentam vestígios de ovários e estiletos rodeados por uma espiral de estames com filete longo viáveis para

a produção de pólen (Figura 8). As flores femininas são maiores que as masculinas, possuem o ovário súpero, estiletes bem desenvolvidos e os estames produzem pólen estéril (Figura 9). Geralmente, os botões florais abrem no mês de maio e a floração tem a duração de 2 a 3 semanas. Apesar de as flores masculinas não produzirem frutos são imprescindíveis para a polinização das fêmeas. Esta característica torna a sincronização da floração de plantas femininas e masculinas um fator preponderante nos resultados produtivos das plantas femininas, uma vez que o tamanho dos frutos está diretamente relacionado com número de sementes envolvido no processo de polinização (Cacioppo, 1989; Harvey et al., 1987; Salinero et al., 2009).

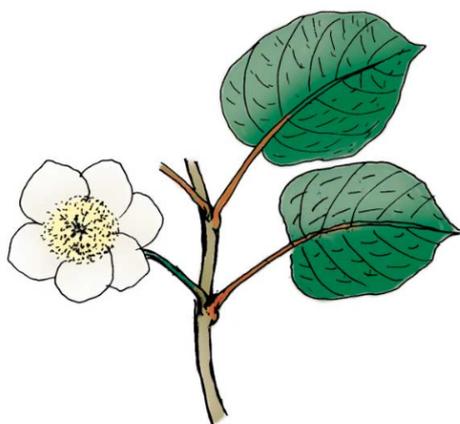


Figura 8 - Flor masculina (Fonte: Spada & Marini, 2001).



Figura 9 - Flor feminina (Fonte: Spada & Marini, 2001).

O **fruto** da *A. deliciosa* é o kiwi, uma baga oval com cerca de 5 a 8 centímetros de comprimento. A casca é castanha, com pelos rígidos, o que lhe confere uma textura áspera. O interior do kiwi é constituído por uma polpa verde com centenas de sementes escuras e uma columela, em detalhe a constituição do kiwi está representada na Figura 10. O número de sementes depende da quantidade de grãos de pólen transferidos para a flor durante a polinização, normalmente varia entre poucas dezenas até à classe dos milhares. O que confere a cor verde à polpa do kiwi é a presença de clorofila no fruto maduro, este pigmento fotossintético, na maioria dos frutos é perdido durante a maturação. O seu sabor é ligeiramente ácido, devendo estar entre os 14 e os 16° Brix no momento do consumo (Cacioppo, 1989; Neves, 2008).

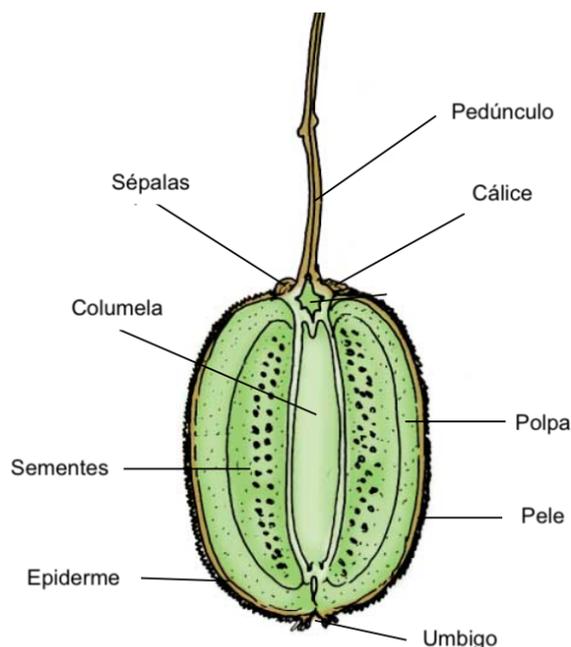


Figura 10 - Corte longitudinal do kiwi e respetiva constituição (Fonte: Spada & Marini, 2001)

1.2.4. EXIGÊNCIAS CLIMÁTICAS

A actinídea é uma planta que se desenvolve em climas temperados e subtropicais. Ela é capaz de tolerar temperaturas abaixo de 0°C no inverno e altas temperaturas nos meses quentes. Esta é uma planta bastante exigente em luz e água, requerendo luz solar direta e o solo constantemente húmido, mas não encharcado (Ferguson, 1984; Smith & Walton, 2000).

Para o bom desenvolvimento da cultura, a temperatura atmosférica ideal varia entre 14°C e 25°C. Por outro lado, nesta cultura as plantas passam por um período de dormência invernal durante o qual necessitam entre 700 a 900 horas de temperaturas inferiores a 7°C (valores aproximados que podem variar com as cultivares), entre os meses de novembro e março, para que a dormência seja quebrada. Este processo tem um efeito preponderante na regulação fisiológica da planta (Cacioppo, 1989; Neves, 2008).

1.2.5. EXIGÊNCIAS EDÁFICAS

Uma vez que a actinídea possui raízes robustas e ramificadas, esta necessita de solos que permitam este desenvolvimento. Como também é uma planta muito exigente em água, devem evitar-se os solos muito esqueléticos, onde as reservas de água são muito reduzidas. O mesmo acontece com os solos com elevado teor de

argila, pois dificultam a drenagem, com a consequente perda de produção, e no limite a morte das plantas por asfixia radicular (Oliveira & Veloso, 2008).

1.2.6. DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

A cultura da actinídea distribui-se geograficamente entre os 25° e os 45° em ambos os hemisférios, estando mais bem-adaptada a ambientes húmidos, abrigados, frios no inverno (até -10°C) e quentes no verão (não ultrapassando os 40°C) e sem geadas primaveris, de forma a permitir a maturação do fruto. Fora destas latitudes a produção está condicionada pelo stress hídrico, pelos danos causados pela congelação durante o inverno, abrolhamento precoce e geadas primaveris (Ferguson, 2013).

1.2.7. FENOLOGIA E CICLO VEGETATIVO

A caracterização dos estados fenológicos como o abrolhamento, a floração e a maturação dos frutos é fundamental para uma eficiente gestão de qualquer cultura. É a correta identificação de cada uma destas fases que permite que as diversas práticas agrícolas sejam realizadas no momento certo (Salinero et al., 2009). Estes autores descreveram os estados fenológicos da *Actinidia deliciosa* cv. “Hayward” com base na escala BBCH (*Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie*). Uma versão abreviada, com os principais estados fenológicos da cultura, está apresentada na Figura 11.

No final do inverno surgem os primeiros sinais do início da atividade vegetativa da actinídea através da exsudação de seiva bruta pelas feridas da poda. Isto é consequência de o reinício da atividade do sistema radicular, promovido pelo aumento da temperatura do solo. Esta primeira fase de atividade do novo ciclo vegetativo caracteriza-se pelo desenvolvimento dos gomos (Figura 11- estado 00 a 09). Segue-se a fase de desenvolvimento das folhas (Figura 11 - estado 11 a 19) e o aparecimento das inflorescências (Figura 11- estado 53 a 57). Nos meses de verão, dá-se a floração (Figura 11 - estado 60 a 69). Após a polonização e o vingamento tem início a última fase do ciclo vegetativo da actinídea: o desenvolvimento dos frutos (Figura 11 - estado 79). Esta fase prolonga-se até meados/finais da estação do outono que é quando ocorre a colheita (Salinero et al., 2009).



Figura 11 - Estados fenológicos da *Actinidia deliciosa* cv. "Hayward" (adaptado de Salinero et al. 2009)

Durante o crescimento e desenvolvimento do fruto (julho a setembro) também ocorre a indução floral que irá determinar a produção do ano seguinte. Este fenómeno necessita de luz para que ocorra e trata-se de um desbloqueamento genético no interior do gomo passando-o de vegetativo a misto (Neves, 2008). Após a colheita, assim que a planta perde as folhas, entra em repouso vegetativo, até que no fim do inverno ocorra novamente o inchamento do gomo - início de um novo ciclo (Cacioppo, 1989).

1.2.8. SISTEMA DE PRODUÇÃO NA REGIÃO ENTRE DOURO E MINHO

Forma de condução e poda

A forma de condução é a técnica cultural que define a distribuição espacial da planta durante o seu desenvolvimento. Neste processo é importante promover o equilíbrio

entre partes de suporte (tronco e braços) e partes produtivas (varas do ano anterior e rebentos frutíferos). Os sistemas de condução mais utilizados na cultura da actíndea são a cruzeta e a pérgola (Rodrigues, 2008).

A poda é uma operação cultural indispensável quer na seleção e promoção dos ramos frutíferos, quer na obtenção de produções regulares com frutos de qualidade. Esta atividade divide-se em dois segmentos: a poda de formação e a poda de frutificação. A primeira decorre durante os 2 a 3 primeiros anos após a plantação e tem como objetivo formar a estrutura permanente da planta. A poda de produção realiza-se quando a planta entra em produção, e tem como principal objetivo equilibrar a produção e a vegetação. Esta operação é executada em duas fases a cada ciclo: no inverno (poda de inverno), quando se selecionam as estruturas que irão produzir na estação seguinte e na primavera e verão (poda em verde), que é fundamental para o equilíbrio vegetativo e produtivo da planta (Rodrigues, 2008).

Coberto vegetal

O coberto vegetal ou enrelvamento é uma prática muito comum aplicada às entrelinhas dos pomares, uma vez que ajuda a conservar o solo e a qualidade da água. Para além disso também aumenta ou mantém a matéria orgânica do solo, o que melhora a sua estrutura e fertilidade, protege os solos da compactação e dos danos causados pelas movimentações de pessoas e equipamentos (Gattullo et al., 2020). Existem ainda estudos que indicam que o coberto vegetal pode contribuir para o controlo biológico de algumas pragas (Merwin, 2004; Oliveira & Merwin, 2001).

No entanto, se as culturas que formam o coberto vegetal forem infestantes, isto é, plantas que vão competir diretamente com a cultura principal por nutrientes e água, o coberto vegetal pode ter um efeito negativo no pomar, sendo necessário calcular a quantidade de água utilizada pela cobertura vegetal (Pereira et al., 2020b). Este é um dos maiores perigos do coberto vegetal formado por vegetação espontânea (Merwin, 2004).

O coberto vegetal pode ser formado por sementeira de espécies melhoradas, isto é, espécies que criem sinergias positivas com a cultura principal, de forma a melhorar a qualidade e produtividade do pomar. Em regiões húmidas os cobertos vegetais mais comuns são formados por mistura de gramíneas perenes e dicotiledóneas herbáceas

nas entrelinhas, enquanto a vegetação na linha é controlada por herbicidas, coberturas vegetais ou ceifas periódicas (Oliveira & Merwin, 2001).

Rega

Conforme já foi referido, a actinídea desenvolve-se idealmente em condições de elevada humidade atmosférica, com água abundante, mas sem que exista encharcamento. O encharcamento provoca uma diminuição da concentração de oxigénio no solo, com consequentes condições de asfixia sobre o sistema radicular da planta. Isto provoca efeitos negativos na produção e qualidade dos frutos, uma vez que a actinídea é pouco tolerante a baixos níveis de oxigénio (Di Biase et al., 2023).

A actinídea possui grandes superfícies transpirantes (folhas de grande dimensão) e vasos xilémicos grandes e esparsos permitindo uma elevada condutividade hidráulica copa-caule. Devido a estas características esta cultura requer grandes quantidades de água quando cultivada em condições mediterrâneas, que se caracterizam por radiações de alta intensidade, baixas precipitações nos meses de verão e défices de pressão de vapor relativamente altos (Torres-Ruiz et al., 2016). Nestas condições, um hectare de pomar para produzir cerca de 25 toneladas de fruta durante um ciclo vegetativo necessita de aproximadamente 6 mil metros cúbicos de água (Oliveira & Silva, 2008). O stress hídrico pode comprometer seriamente o crescimento do fruto, principalmente quando este acontece numa fase inicial da sua formação, aproximadamente 7 a 10 dias após a frutificação (Miller et al., 1998).

As necessidades de rega dependem de muitos fatores, como as condições climáticas do local, a ocorrência de precipitação, o armazenamento hídrico do solo, a cobertura do solo, a idade do pomar, a própria carga do pomar e também a fase do ciclo cultural. Durante a fase de dormência da actinídea, as plantas praticamente não transpiram, por isso, as suas necessidades hídricas também são praticamente nulas. Na fase inicial do ciclo vegetativo, que vai desde a rebentação até à floração, as necessidades hídricas da actinídea aumentam progressivamente até atingirem o seu máximo. Desde esta fase até à fase de senescência das folhas, as necessidades hídricas são máximas e variam principalmente em função das condições atmosféricas. Por fim, durante a fase de senescência e queda das folhas verifica-se uma redução da atividade das plantas, o que resulta também na redução das necessidades hídricas (Oliveira & Silva, 2008).

Em Portugal, os sistemas de rega mais utilizados nesta cultura são a microaspersão, sistema colocado aproximadamente a um metro do solo e o sistema gota-a-gota (Figura 12), no entanto, também podem ser utilizados o *microjet* ou aspersor. Outras regiões também recorrem, por vezes, à rega por gravidade (Oliveira & Silva, 2008).



Figura 12 - Sistemas de rega utilizados em pomares de kiwi: a. microaspersão; b. gota a gota.

1.2.9. PRINCIPAIS PROBLEMAS FITOSSANITÁRIOS

A cultura da actinídea em Portugal não regista uma grande quantidade de problemas fitossanitários, no entanto, existem alguns inimigos desta cultura. Estes inimigos são organismo cuja atividade pode contribuir para a diminuição quantitativa e qualitativa da produção de kiwi e que conduz a efeitos negativos para a agricultura do pomar e da área em seu redor. Os inimigos da cultura da actinídea podem ser agrupados em três categorias: pragas, doenças e infestantes (Félix et al., 2008; Mendes & Cavaco, 2008; Sofia, 2008).

As pragas são organismos que se alimentam das plantas. Assim, durante a alimentação, estes organismos podem transmitir agentes patogénicos às plantas, levando assim à transmissão de doenças. As pragas podem pertencer a vários grupos, tais como: insetos, ácaros, moluscos e mamíferos (Cacioppo, 1989; Carneiro et al., 2004; Félix et al., 2008). No Quadro 2 são apresentadas as principais pragas da cultura da actinídea e os sintomas que estas provocam nas plantas.

Quadro 2 - Sintomas das principais pragas que afetam a cultura da actinídea (adaptado de Cacioppo, 1989; Carneiro et al., 2004; Félix et al., 2008)

Espécie	Nome comum	Sintomas
<i>Heliothrips haemorrhoidalis</i>	Tripes	Folhas verdes baças ou prateadas; escarificação dos tecidos dos frutos.
<i>Ceratitis capitala</i>	Mosca da fruta	Apodrecimento dos frutos.
<i>Helicidae</i>	Caracóis	Alimentam-se de rebentos e folhas da actinídea.

As doenças que afetam a actinídea são provocadas por agentes patogénicos (fungos, bactérias ou vírus). Estes apresentam algumas características comuns, nomeadamente a elevada capacidade de reprodução, dispersão e resistência (Cunty et al., 2015; Di Marco et al., 2000, 2004; Sofia, 2003). Uma das principais doenças identificadas recentemente em Portugal, nomeadamente em 2010 foi a *Pseudomonas syringae* provocando elevados prejuízos económicos (Garcia et al., 2018).

No Quadro 3 são apresentados os sintomas das principais doenças que afetam a cultura da actinídea.

Quadro 3 - Sintomas das principais doenças que afetam a cultura da actinídea (adaptado de Cunty et al., 2015; Di Marco et al., 2000, 2004; Sofia, 2003)

Doença	Nome comum	Sintomas
<i>Pseudomonas syringae</i> <i>pv. actinidiae</i>	Cancro bacteriano do kiwi	Necroses dos gomos, folhas e flores; cancro nos ramos e tronco com exsudado de cor avermelhada; seca dos ramos; morte das plantas.
<i>Pseudomonas viridiflava</i>	Murchidão Bacteriana	Queda do botão floral; necrose das flores; gomos de ramos infetados não abroham.
<i>Phaeoacremonium spp.</i> , <i>Phaeomoniella chlamydospora</i> e <i>Fomitiporia mediterranea</i>	Esca do kiwi	Necrose das folhas; frutos nunca atingem o amadurecimento completo; degradação da madeira; dessecamento dos braços; morte da planta.
<i>Armillaria mellea</i>	Podridão radicular	Morte progressiva do caule; aparecimento de rizomorfos nas raízes.
<i>Phytophthora spp.</i>	Podridão radicular	Crescimento reduzido dos rebentos e das folhas; morte repentina da planta; interior das raízes e do colo com coloração castanho-avermelhada.
<i>Botrytis cinerea</i>	Podridão cinzenta	Durante o período de conservação do fruto este fica mole, o seu interior verde-escuro e no exterior pode desenvolver-se um micélio cinzento.
<i>Meloidogyne hapla</i>	Nemátodo	Nódulos (galhas) nas raízes que provocam hipertrofia das células corticais; parte visível da planta: murchidão e necrose foliar.

As infestantes são plantas que surgem espontaneamente no solo e que competem diretamente com a cultura principal, neste caso com a actinídea, por recursos naturais como água, luz solar e nutrientes (Mendes & Cavaco, 2008).

1.3. SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Conforme foi referido no enquadramento do tema, o desequilíbrio entre a água disponível e a procura de produtos agrícolas para alimentar a população mundial tem motivado inúmeros estudos na área da otimização dos recursos hídricos. Neste sentido, desde os anos 80 que muitos modelos de programação e condução da rega foram desenvolvidos, tais como CropWat 8.0 e AquaCrop (ambos desenvolvidos pela Food Agriculture Organization) e WinISAREG (Pereira et al., 2003). Estes modelos têm como principal objetivo otimizar a utilização da água, proporcionando aos

agricultores e aos técnicos, ferramentas úteis para realizar uma gestão mais eficiente deste recurso, cada vez mais escasso (Pereira et al., 2020a).

Estes modelos têm como base o balanço hídrico da água no solo e, na sua maioria, incluem o cálculo da evapotranspiração cultural (ET_c) e a simulação da dinâmica da água no solo. Existem ainda alguns trabalhos que calculam o impacto da quantidade de água disponível na produção das culturas e a produtividade da água (Rodrigues & Pereira, 2009). No caso concreto do modelo em estudo, o SIMDualKc foi desenvolvido com base na FAO 56 (Allen et al., 1998) e emprega o método do coeficiente dual que será detalhado posteriormente (Pereira et al., 2020a).

1.3.1. BALANÇO DA ÁGUA NO SOLO

O teor de água no solo é um dos fatores fundamentais no sucesso da produção de qualquer cultura. As plantas retiram a água do solo através das raízes numa tentativa de manter o fluxo hidráulico, o que contribui para a manutenção do seu equilíbrio térmico. A água é ainda vital em várias reações bioquímicas das plantas, bem como na absorção de nutrientes. No entanto, o ambiente gasoso do solo, nomeadamente o oxigénio também é essencial para o bom funcionamento das raízes e este está inversamente relacionado com a quantidade de água no solo, pelo que o equilíbrio destes dois fatores é fundamental à saúde da planta (Ritchie, 1998).

De forma a manter o equilíbrio entre gases e água, o teor de água no solo deve ser mantido entre a capacidade de campo (θ_{FC}) e o coeficiente de emurchecimento permanente (θ_{WP}). O primeiro corresponde ao teor de água na zona das raízes, a partir do qual a drenagem se torna quase nula (sem que exista percolação), e o segundo corresponde ao teor de água no solo abaixo do qual as forças de absorção e adsorção do solo ultrapassam as forças que as plantas conseguem desenvolver para extrair do solo a água necessária às suas necessidades vitais. Os valores destes parâmetros hídricos do solo dependem fundamentalmente da granulometria, estrutura, teor de matéria orgânica e tipo de argila que constituem o solo.

O Quadro 4 contém informação indicativa sobre os valores esperados para θ_{FC} , θ_{WP} e TAW para os principais tipos de solos de acordo com as respectivas classes texturais (Pereira et al., 2003).

Quadro 4 - Valores indicativos dos teores de humidade à saturação (θ_{Sat}), capacidade de campo (θ_{Fc}), coeficiente de emurchecimento permanente (θ_{WP}) e a água disponível total (TAW). (Fonte: Pereira et al. (2003))

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

Teores de água no solo dentro dos intervalos referidos [$\theta_{\text{WP}} - \theta_{\text{Fc}}$] permitem a maximização da evapotranspiração real da cultura, o que conseqüentemente evita quebras de produção ao longo dos ciclos de crescimento e favorece uma utilização eficiente da água pelas plantas. Estes coeficientes permitem, ainda, definir a água disponível total (TAW) para uma dada espessura radicular (Z_r) (Equação 1) (Allen et al., 1998).

$$TAW = 1000(\theta_{\text{Fc}} - \theta_{\text{WP}})Z_r, \quad 1$$

O balanço da água no solo resulta de um conjunto de fluxos de entrada e saída. Como fluxos de entrada, os que abastecem a zona das raízes, destacam-se a rega, a chuva e a ascensão capilar, a última acontece apenas quando existem toalhas freáticas pouco profundas. Os principais fluxos de saída são a transpiração das plantas, a evaporação do solo, o escoamento superficial e a percolação em profundidade (Figura 13) (Allen et al., 1998).

Para que as plantas se encontrem em conforto hídrico e assim a produção possa ser maximizada, o teor de água no solo deve ser mantido próximo da capacidade de campo, uma vez que, assim a energia gasta pelas plantas para extrair a água do solo é mínima. A esta fração dá-se o nome de água facilmente disponível (RAW). A água facilmente disponível é definida pela fração de esgotamento da água do solo quando a planta está em conforto hídrico (p) (Equação 2) (Allen et al., 1998).

$$RAW = TAWp, \quad 2$$

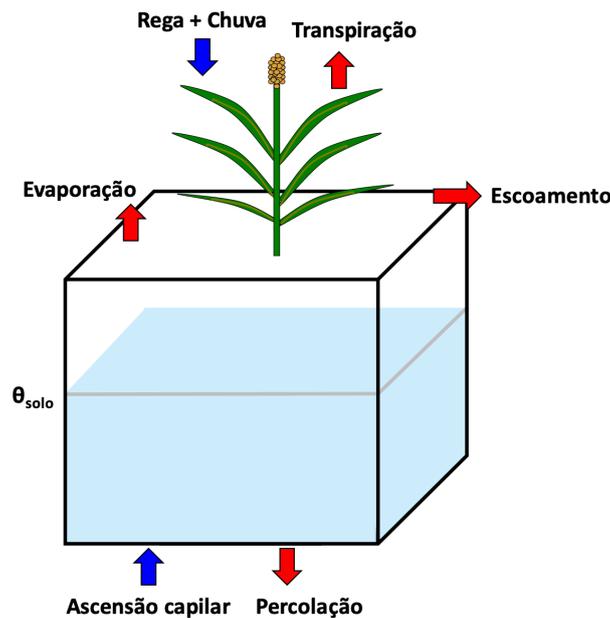


Figura 13 - Componentes do balanço de água no solo (Fonte: Ramos et al. (2016)).

A quantidade de água na zona das raízes da planta é calculada com recurso à depleção. A depleção é o défice de água disponível, esta é igual a zero quando a humidade do solo é máxima, isto é, quando é igual à capacidade de campo. Segundo Allen et al. (1998) a depleção na zona da raiz no final de um dia i ($D_{r,i}$) pode ser calculada segundo a Equação 3:

$$D_{r,i} = D_{r,i-1} - (P - Esc)_i - I_i - AC_i + ET_{c,i} + DP_i, \quad 3$$

onde $D_{r,i-1}$ representa a depleção na zona da raiz no final do dia anterior ($i-1$), P_i a precipitação ocorrida no dia i , Esc_i é o escoamento superficial ocorrido no dia i , I_i é a quantidade de água da rega que efetivamente se infiltra no solo no dia i , AC_i trata-se da ascensão capilar de água no lençol freático no dia i , $ET_{c,i}$ é a evapotranspiração cultural no dia i , e DP_i é a quantidade de água perdida por percolação ou drenagem

profunda no dia *i*. Todas as variáveis apresentadas nesta equação são expressas em mm.

1.3.2. O MÉTODO DO COEFICIENTE DUAL

O manual FAO 56 (Allen et al., 1998) apresenta duas formas de calcular a evapotranspiração cultural (ET_c) a partir da evapotranspiração de referência (ET_o): i) utilizando um coeficiente cultural único (K_c), que combina os efeitos da evaporação do solo (E_s) com a transpiração da cultura (T_c) no mesmo coeficiente, e ii) método do coeficiente dual que calcula separadamente o coeficiente cultural basal (K_{cb}) e ainda o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) (Rosa et al., 2012 a), respetivamente Equações 4 e 5.

$$ET_c = k_c ET_o, \quad 4$$

$$ET_c = (k_{cb} + k_e) ET_o, \quad 5$$

Onde ET_c e ET_o são medidos em $mm\ d^{-1}$ e K_{cb} e K_e são coeficientes adimensionais, resultando assim $T_c = K_{cb} ET_o$ e $E_s = K_e ET_o$. O K_{cb} é definido como a fração entre a evapotranspiração cultural e a evapotranspiração de referência (ET_c/ET_o) quando o solo está seco e a transpiração da cultura não é limitada pela disponibilidade de água (Rosa et al., 2012 a).

O K_{cb} tem em consideração as pequenas quantidades de água evaporada do solo devido à difusão. Este coeficiente varia ao longo do ciclo vegetativo da planta, desta forma devem ser definidos três valores: $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ med}$, $K_{cb\ fin}$, que representam respetivamente os valores médios de K_{cb} nas fases inicial, intermédia e final do ciclo vegetativo da planta (Allen et al., 1998; Rosa et al., 2012 a).

O coeficiente de evaporação do solo K_e é máximo quando o solo está molhado, após um evento de rega ou precipitação e quando a copa da cultura é baixa. Quando a planta é sujeita a stress hídrico é ainda necessário incluir um coeficiente que tenha em conta o comportamento da planta nessa situação, esse coeficiente denomina-se por coeficiente de stress hídrico K_s . O K_s depende da quantidade de água na zona da raiz e encontra-se no intervalo [0-1] (Rosa et al., 2012a). Este coeficiente permite o cálculo do coeficiente cultural real ($K_{c\ act}$) (Equação 6).

$$k_{c\ act} = k_s k_{cb} + k_e, \quad 6$$

Assim, a evapotranspiração cultural real (ET_a) é calculada segundo a Equação 7:

$$ET_a = k_{c\ act} ET_o,$$

1.3.3. MODELOS DE SIMULAÇÃO DO BALANÇO DA ÁGUA NO SOLO

O primeiro modelo desenvolvido com base no coeficiente cultural surgiu após a publicação da FAO 24 (Doorenbos & Pruitt, 1975) e foi criado com a CIMIS (California Irrigation Management Information System). Este modelo continua ainda hoje a ser desenvolvido e é baseado numa robusta base de dados (Pereira et al., 2020a). Com a publicação da FAO 56 (Allen et al., 1998) surgiram os primeiros modelos a adotar o método do coeficiente dual. Pereira et al. (2020a) apresenta uma detalhada revisão da literatura aos modelos de balanço da água no solo desenvolvidos com base na FAO 56 quer pelo método do coeficiente cultural único, quer pelo método do coeficiente cultural dual.

O método do coeficiente cultural dual é mais complexo que o do coeficiente cultural único, uma vez que requer um balanço diário (ou de um curto período) da evapotranspiração e ainda da água existente na zona das raízes das plantas. Desta forma, são necessários dados como a textura do solo nas diferentes profundidades, as características do coberto vegetal, o ciclo cultural da planta e os eventos de rega. No entanto, vários estudos também demonstraram que o modelo apresenta um maior nível de adequação, face aos dados reais, que o método do K_c único (Rosa et al., 2012 a). A primeira aplicação do K_c duplo foi registada por Allen (2000) na Turquia num ensaio com trigo na estação de inverno e milho no verão. Desde aí muitos outros casos de sucesso foram reportados para culturas como o sorgo (Tolk et al., 2001), o algodão (Howell et al., 2004), para sete sistemas de forragem na Austrália (Greenwood et al., 2009), para cebolas (López-Urrea et al., 2009), em culturas permanentes (Darouich et al., 2023; Rallo et al., 2021) e para a vinha (Fandiño et al., 2012; Silva et al., 2021).

1.3.4. MODELO SIMDUALKC

O SIMDualKc é um modelo de balanço de água no solo, cujo objetivo passa por avaliar as necessidades hídricas da cultura e a forma como a água é utilizada, apoiando no planeamento e gestão das regas de vários tipos de culturas, como hortícolas, pomares ou culturas anuais extensivas. O fluxograma deste modelo, apresentado na Figura 14, identifica os dados de entrada, os principais cálculos do algoritmo e os vários resultados do modelo, bem como as extensões (campos de

preenchimento não obrigatório) que devem ser programados sempre que se adequem ao caso em estudo, gerando resultados de melhor qualidade. Este modelo tem em consideração diferentes tipos de rega como gota-a-gota, aspersão e de superfície (gravidade), e permite também estudar o efeito nas culturas do método de sequeiro (sem rega) (Rosa et al., 2012 a).

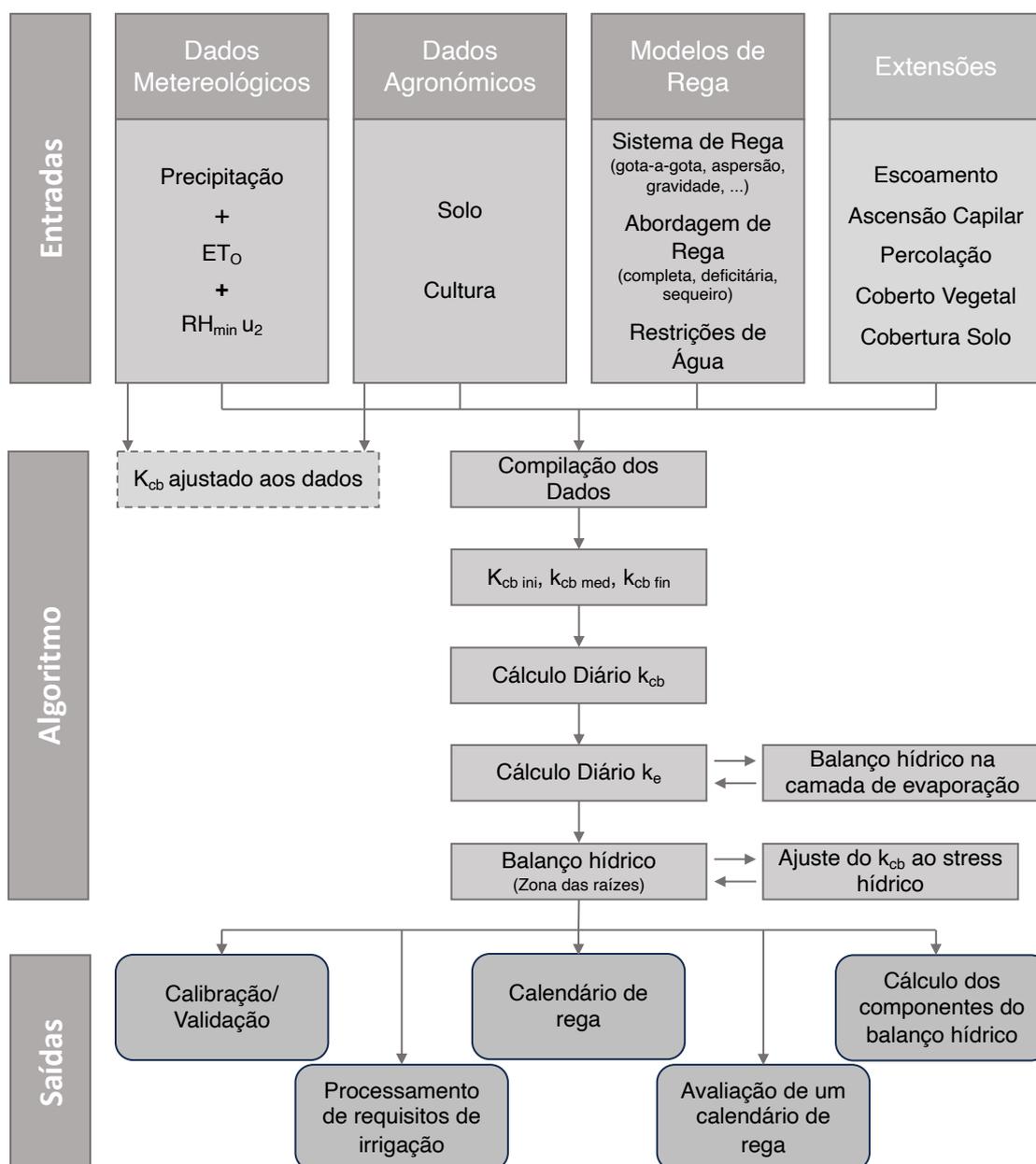


Figura 14 – Fluxograma do modelo SIMDualKc, adaptado de Rosa et al. (2012 a).

Nas culturas que formam copas que não cobrem completamente o solo (como pomares ou vinhas), se não for controlada, surge vegetação nas entrelinhas que concorre com a planta por água e nutrientes e que contribui para a evapotranspiração

total. Esta vegetação pode ainda ser definida por sementeira de espécies melhoradas, conforme se apresentou como prática comum na cultura da actinídea. Uma vez que este tipo de culturas, sejam infestantes ou trabalhem em consociação com a cultura, contribuem para a evapotranspiração total da cultura, o SIMDualKc utiliza a abordagem apresentada na Equação 8 para o cálculo do K_{cb} , tendo em conta o K_{cb} do coberto vegetal na ausência de folhagem das árvores ($K_{cb\ coberto}$) (Allen & Pereira, 2009; Rosa et al., 2012 a).

$$k_{cb} = k_{cb\ coberto} + k_d \left(\max \left[k_{cb\ full} - k_{cb\ coberto}, \frac{k_{cb\ full} - k_{cb\ coberto}}{2} \right] \right) \quad 8$$

Onde, K_d é o coeficiente de densidade da copa das árvores e o $K_{cb\ full}$ é o K_{cb} previsto para a cultura em condições de cobertura total e corrigida para o clima. O segundo termo da função max (máximo) reduz a estimativa do K_{cb} para metade da diferença entre entre o $K_{cb\ full}$ e o $K_{cb\ coberto}$ quando esta diferença é negativa (Rosa et al., 2012 a).

No SIMDualKc a E_s é calculada através do balanço de água diário na camada superior do solo, de onde a maior parte da água se evapora. A camada de evaporação do solo é caracterizada pela sua espessura (Z_e , m), pela quantidade de água evaporável total (TEW, mm), que é a profundidade de água máxima que pode evaporar quando a camada está completamente molhada, e a água facilmente evaporável (REW, mm), que é a profundidade de água evaporável sem restrições de água. A evaporação do solo é limitada pela quantidade de energia disponível à superfície do mesmo combinada com a energia consumida pela transpiração, este valor não pode exceder a diferença entre o $K_{c\ max}$ e o K_{cb} , com $K_{c\ max} = \max(K_{cb} + K_e)$ (Allen et al., 1998; Fandiño et al., 2015). À medida que a água da camada superficial evapora a redução da E_s ocorre na mesma proporção (Equação 9).

$$k_e = k_r (k_{c\ max} - k_{cb}) \text{ com } k_e \leq f_{ew} k_{c\ max} \quad 9$$

Onde K_r é o coeficiente de redução da evaporação (≤ 1), $K_{c\ max}$ é o valor máximo de K_c após um evento de rega ou precipitação e f_{ew} é a fração de solo simultaneamente exposta e molhada (Allen et al., 1998).

Em climas com elevada precipitação nem toda a água proveniente das chuvas fica disponível para as plantas, muitas vezes esta perde-se por percolação em profundidade (DP) e escorrimento. Nestes climas também pode surgir água na zona

das raízes por ascensão capilar (AC). Desta forma, em estudos neste tipo de regiões é importante que as extensões do SIMDualKc que caracterizam estes fenômenos sejam devidamente parametrizadas. Os valores da ascensão capilar podem ser introduzidos diretamente pelo usuário (AC_{max}), no entanto, os impactos deste fenômeno também podem ser estimados com recurso às equações paramétricas desenvolvidas por Liu et al. (2006). Neste caso, os fluxos da AC ($mm\ d^{-1}$), que ocorrem ao longo do ciclo vegetativo, são estimados através dos dados da tabela de profundidades do lençol freático (D_w , m), do valor do armazenamento de água no solo (W_a , mm), da evapotranspiração cultural (ET_c , $mm\ d^{-1}$) e da ascensão capilar máxima (AC_{max} , $mm\ d^{-1}$). O fluxo diário real da AC é calculado proporcionalmente à AC_{max} dependendo da ET_c , D_w e W_a . A ascensão capilar baixa do seu valor máximo quando o armazenamento de água no solo é alto, a profundidade do lençol freático aumenta ou a evapotranspiração diminui. Nas equações paramétricas de Liu et al. (2006) os parâmetros relativos ao armazenamento de água no solo (a_1 , b_1 , a_2 , b_2) relacionam-se com D_w , com ET_c (a_3 , b_3) e com a AC_{max} (a_4 , b_4) e devem ser calibrados tendo em consideração as características do solo e do lençol freático. Liu et al. (2006) propôs valores para estes parâmetros que caracterizam 3 tipos de solo: arenoso, argiloso e limoso e que podem ser utilizados como base para o processo de calibração (Fandiño et al., 2015).

A percolação em profundidade ($mm\ d^{-1}$) pode ser calculada pelo procedimento descrito em Doorenbos e Pruitt (1975), no qual é assumido que a DP ocorre na sua totalidade no próprio dia em que o excesso de água é aplicado. Neste caso o usuário não necessita de introduzir qualquer informação relativa a este campo, o modelo calcula automaticamente a DP. Os valores da DP podem, também, ser calculados através de uma função desenvolvida por Liu et al. (Liu e2006), que decresce à medida que a capacidade de armazenamento de água no solo se aproxima da saturação após a ocorrência de um evento de rega ou precipitação. Os parâmetros de percolação (a_D , b_D) também devem ser calibrados (Fandiño et al., 2015; Rosa et al., 2007).

O escoamento à superfície acontece quando a quantidade de água que chega ao solo excede a capacidade de infiltração do mesmo. Este fenômeno é simulado pelo SIMDualKc através do método *curve number* (CN) (USDA-SCS, 1972). O parâmetro CN está relacionado com o solo, a vegetação e a quantidade de água armazenada

no solo em cada momento e pode ser estimado com recurso a valores tabelados (Fandiño et al., 2015; USDA-SCS, 1972).

Em detalhe, os dados de entrada do SIMDualKc incluem (Fandiño et al., 2015; Rosa et al., 2007):

- Dados climáticos diários: Evapotranspiração de referência (ET_o , mm), precipitação (P , mm), humidade relativa mínima (RH_{min} , %) e velocidade do vento a 2 metros de altura (u_2 , ms^{-1}). A evapotranspiração pode ser introduzida diretamente ou calculada pelo modelo através da equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).
- Dados de solo: número de camadas de solo com diferentes características, bem como a profundidade de cada uma dessas camadas (m), respetivo coeficiente de emurchecimento (θ_{WP} , cm^3cm^{-3}) e capacidade de campo (θ_{FC} , cm^3cm^{-3}) ou a água disponível total (TAW, mm); características da camada evaporável do solo (Z_e , REW e TEW).
- Dados da cultura: datas de entrada em cada um dos estados de desenvolvimento (plantação/iniciação, crescimento rápido, meia estação, maturação e fim de estação/colheita), para cada uma das fases: profundidade da raiz (Z_r , m), altura da planta (h , m) e fração de esgotamento da água do solo quando a planta está em conforto hídrico (p), fração do solo coberta pela planta (f_c , %) e ainda $K_{cb\ ini}$, $K_{cb\ med}$, $K_{cb\ fin}$.
- Dados de rega: tipo de rega; datas e profundidades de irrigação (mm) ou tempos e profundidades de rega quando o objetivo é criar um calendário de rega; fração de solo molhada pela rega (f_w).

Dados para programar as extensões:

- Dados para a ascensão capilar: o modelo oferece três possibilidades: i) Valor único da ascensão capilar potencial (AC_{max}); II) vários valores da AC_{max} em datas específicas; iii) valores dos parâmetros das equações paramétricas propostas por Liu et al. (2006).
- Dados para a percolação em profundidade: o modelo oferece duas possibilidades: i) a informação pode ser omitida, o modelo calcula

automaticamente a DP; ii) o utilizador insere os valores necessários para a utilização da equação paramétrica proposta por Liu et al. (2006).

- Dados para calcular o impacto do coberto vegetal, cobertura do solo e escoamento.

O modelo SIMDualKc tem como principais resultados a calibração e validação de coeficientes culturais, o processamento de requisitos de irrigação, a construção de um calendário de rega, a avaliação de um calendário de rega e ainda, o cálculo dos componentes do balanço hídrico (Figura 14) (Rosa et al., 2012a).

Calibração e validação do modelo

Após o seu desenvolvimento, o modelo do SIMDualKc foi aplicado, calibrado e validado nas culturas do milho (em Coruche, Portugal), trigo (em Alepo, Síria) e algodão (em Fergana Usbequistão), utilizando a metodologia desenvolvida por Rosa et al. (2012b). Nos três casos foi utilizada rega de superfície e nos dois primeiros casos também foi testado o regime de sequeiro (Rosa et al., 2012b).

Esta primeira validação do algoritmo SIMDualKc apresentou resultados muito positivos nas três culturas avaliadas. A cultura que apresentou um coeficiente de regressão (b) mais baixo foi o milho, ainda assim este foi de 0,96. O coeficiente de determinação (R^2) mais baixo foi o do algodão, que indicou que 89% dos dados observados eram explicados pelo modelo. A menor avaliação da Eficiência do Modelo (EM) e do índice de concordância (d_{IC}) também foi obtida pela cultura do algodão, 0,88 e 0,97 respetivamente. As outras duas culturas obtiveram um nível de eficiência do modelo de 0,91 e um índice de concordância de 0,98 no milho e 0,97 do trigo (Rosa et al., 2012b).

Muitos outros autores seguiram metodologias muito semelhantes para a calibração e validação do SIMDualKc em diversas culturas. No Quadro 5 apresentam-se alguns dos trabalhos publicados em que o modelo SIMDualKc é calibrado e avaliado através de regressão linear (b e R^2) e de indicadores de adequabilidade (EM e d_{IC}).

Quadro 5 - Síntese dos principais estudos de calibração e validação do modelo SIMDualKc

Referência	Cultura	Local	b	R ²	EM	d _{ic}	Parâmetro avaliação
(Paço et al., 2014)	Olival intensivo	Portugal	0,95	0,65	0,6	0,9	Transpiração
(Qiu et al., 2015)	Pimenta picante	China	1,04	0,51		0,86	ET _c
(Pereira et al., 2015)	Cevada	Portugal	1	0,85	0,85		Teor de água no solo
(Paço et al., 2012)	Pomar de pêssegos	Portugal	1,03	0,85		0,95	ET _c
(Giménez et al., 2017)	Soja	Uruguai	0,98	0,74	0,61		Teor de água no solo
(Ran et al., 2017)	Milho	China	1,08	0,865	0,952		ET _c
(Rosa et al., 2016)	Milho Sorgo doce	Portugal	0,99 0,99	0,94 0,895	0,93 0,89		Teor de água no solo
(Popova & Pereira, 2011)	Milho	Bulgária	1,02	0,92	0,89	0,97	Teor de água no solo
(Petry et al., 2023)	Soja	Brasil	1,01	0,96	0,95		Teor de água no solo
(Fandiño et al., 2012)	Vinha	Espanha	1,02	0,94	0,93	0,98	Teor de água no solo
(Fandiño et al., 2015)	Lúpulo	Espanha	0,99	0,72	0,81		Teor de água no solo
(Silva et al., 2021)	Vinha	Portugal	1	0,93	0,93	0,98	Teor de água no solo

O parâmetro de avaliação a que se refere o Quadro 5 é o parâmetro medido em campo que serviu de comparação aos resultados gerados pelo modelo. O parâmetro encontrado com maior frequência na literatura foi o teor de água no solo, no entanto, existem estudos que utilizam a ET_c, a transpiração da cultura e a evaporação do solo.

1.4. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

O principal objetivo deste trabalho consistiu na avaliação de estratégias de rega que pudessem contribuir para a gestão eficiente da rega na cultura do kiwi. Neste sentido, foi proposto testar um modelo de simulação de balanço hídrico no solo – o SIMDualKc. O modelo desenvolvido por Rosa et al. (2012a), utiliza dados do clima, de solo e das fases culturais permitindo, entre outros resultados, avaliar calendários de rega. Este modelo já foi testado em várias culturas e em diferentes cenários climáticos, com resultados muito satisfatórios, mas não existiam referências da sua aplicação à cultura do kiwi.

Como objetivos secundários o presente trabalho pretendia: i) calibrar o modelo SIMDualKc para a cultura do kiwi na região Norte de Portugal, utilizando os teores de água registados no solo na estratégia de rega deficitária (ano de 2022); validar a metodologia dos coeficientes duais em estratégias de rega completa (anos 2021 e 2022) e rega deficitária (ano 2021) e iii) avaliar a idoneidade do modelo SIMDualKc para as práticas culturais e condições do Noroeste Peninsular.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo terá lugar a apresentação das características do pomar, bem como do local onde este se insere. Segue-se a caracterização dos dados utilizados na modelação do SIMDualKc e, por fim, o procedimento de calibração e validação do modelo.

2.1. CARATERIZAÇÃO DO POMAR

Os dados utilizados neste trabalho foram recolhidos num pomar comercial de kiwis pertencente à empresa Kiwi GreenSun, localizado na quinta das Picas, São Salvador de Briteiros, concelho de Guimarães (Figura 15). A descrição detalhada do pomar em estudo apresenta-se no Anexo 1.



Figura 15 - Localização do pomar de kiwis em estudo.

A área utilizada neste ensaio foi de 3750 m² divididos em 2 tratamentos: rega completa (rega aplicada pelo agricultor) e a rega deficitária (50% da rega completa). O sistema de rega utilizado neste pomar é gota-a-gota, com gotejadores autocompensantes distanciados 50 cm, com um caudal de 2,2 l h⁻¹.

2.2. CARATERIZAÇÃO EDAFOCLIMÁTICA DO LOCAL

O clima em Portugal foi classificado segundo a escala de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006), através dos resultados registados durante as últimas normais climatológicas, que compreendem os anos de 1971 a 2000. Segundo esta classificação a região de Guimarães (onde se localiza o pomar em estudo) foi

classificada como Csb – clima temperado com Verão seco e suave. A estação meteorológica mais próxima deste pomar é a de Braga, situada a 41.5458N, 8.3994W e a 190 metros de altitude (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2023).

Na Figura 16 observa-se que nesta região, entre os anos de 1981 e 2010, a temperatura mais alta registada foi de 39,5°C (em agosto de 2003) e a temperatura máxima média no mês de agosto (mês mais quente) foi de 28°C. Por outro lado, a menor temperatura registada foi de -5,3°C (em janeiro de 1987), a temperatura mínima média no mês de janeiro (mês mais frio) foi de aproximadamente 4 graus (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2023).

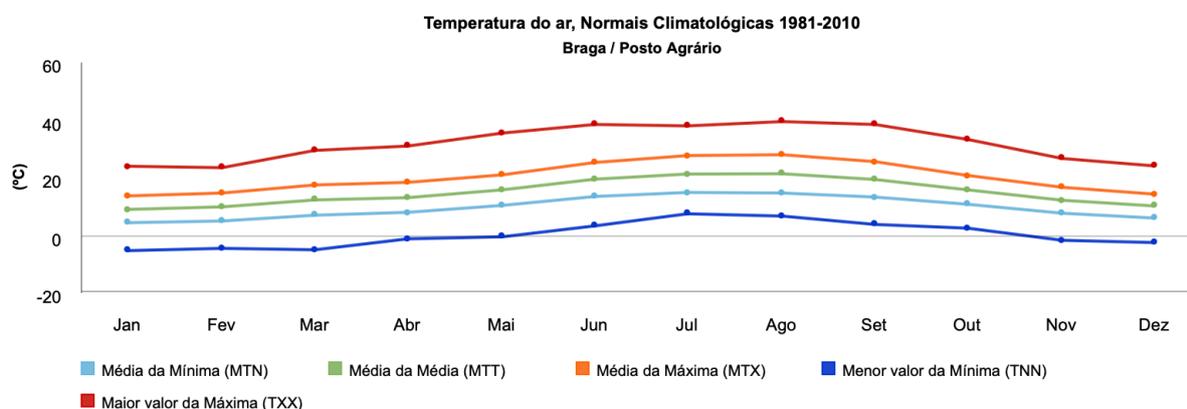


Figura 16 - Temperaturas médias mínimas, médias e máximas e das temperaturas absolutas mínimas e máximas registadas pela estação meteorológica de Braga entre 1981 e 2010 (Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera 2023).

Na Figura 17 pode verificar-se que os meses em que se registou maior precipitação na estação meteorológica de Braga, nos 30 anos em análise, foram os de outono/inverno, especialmente entre outubro e janeiro. Nos meses de verão (junho, julho e agosto) a precipitação foi muito reduzida face aos restantes meses do ano, a média do mês de julho foi mesmo de 22 mm. Entre 1981 e 2010 registou-se uma precipitação média anual de 1452,1mm (Instituto Português do Mar e da Atmosfera, 2023).

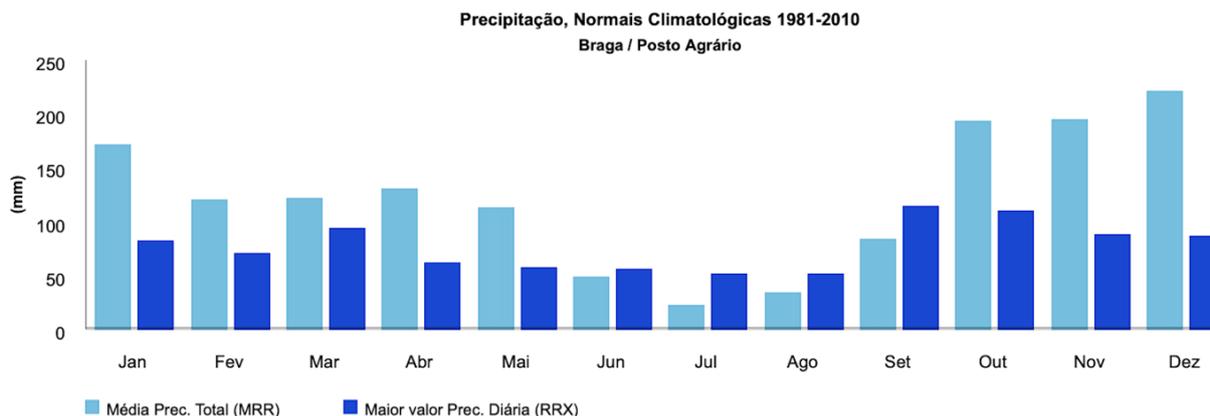


Figura 17 - Precipitação média e máxima mensal registada na estação meteorológica de Braga entre 1981 e 2010 (Fonte: Instituto Português do Mar e da Atmosfera 2023).

O solo neste local caracteriza-se por uma textura intermédia, uma vez que possui uma mistura equilibrada entre areia, argila e limo. Este tipo de solo denomina-se como franco-argilo-arenoso e caracteriza-se por possuir boa drenagem, boa retenção de água e nutrientes e uma textura que é relativamente fácil de trabalhar (Oliveira & Merwin, 2001; Ramos et al., 2016).

2.3. CARACTERIZAÇÃO DO ENSAIO

Durante o ano 2021 e 2022 foram registados os teores de humidade do solo que serviram para calibrar e validar o modelo. Nestes anos a área do pomar esteve dividida em duas partes de dimensões semelhantes em que metade estava sob a estratégia de rega completa e a outra metade sob a estratégia de rega deficitária, na qual a dotação de rega aplicada era 50% da estratégia anterior. Utilizaram-se os dados da rega deficitária de 2022 para calibrar o modelo do SIMDualKc e os restantes 3 ensaios para validá-lo.

De seguida serão apresentados os dados utilizados na parametrização do SIMDualKc, bem como os valores iniciais atribuídos aos parâmetros sujeitos a calibração. Por fim, será ainda apresentado o procedimento de calibração e validação do modelo, bem como o método de medição de água no solo.

Para garantir que os resultados obtidos eram estatisticamente significativos recorreu-se ao teste F, utilizando um nível de significância de 5%.

2.3.1. SOLO

O primeiro passo na modelação do SIMDualKc contemplou a caracterização do solo. Conforme já foi referido, o solo do pomar em estudo é franco-argilo-arenoso, e neste sentido considerou-se existir uma camada de solo homogénea com 80 cm de profundidade, com uma capacidade de campo de $0,305 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e um coeficiente de emurchecimento de $0,187 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Relativamente à camada de solo evaporável caracterizou-se com uma espessura de 10 cm, um TEW de 22 mm e um REW de 10 mm. Os parâmetros desta camada de solo também foram sujeitos a calibração.

2.3.2. CLIMA

Para cada dia do ano (DDA) 2021 e 2022 foram importados (em ficheiro Excel) os valores da precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_o), velocidade do vento a 2 metros (u_2) e humidade mínima relativa (HR_{\min}). Estes dados foram cedidos pela Kiwi GreenSun e recolhidos por uma estação meteorológica localizada junto ao pomar (41,51; -8,32). Nas Figura 18 e 16 podem ser observados os dados climáticos introduzidos no modelo. Nestes gráficos pode analisar-se a variação da ET_o com a precipitação, a HR_{\min} (Figura 18) e a velocidade do vento (Figura 19).

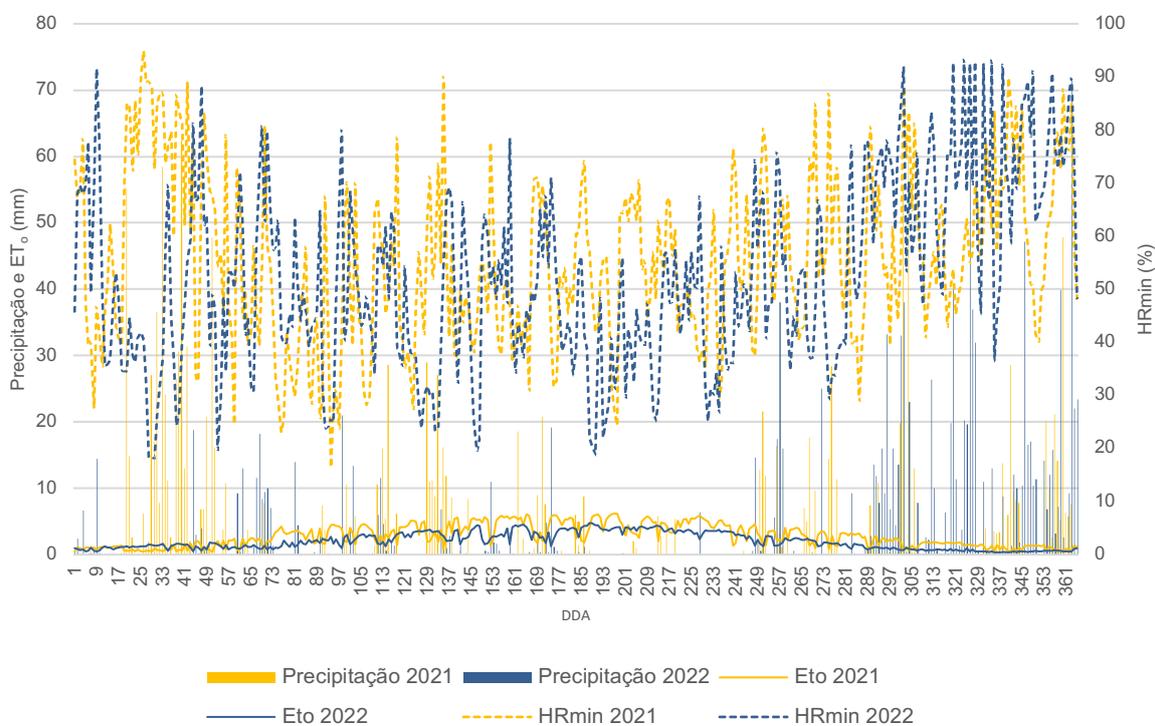


Figura 18 - Dados da ET_o , precipitação e humidade relativa mínima (HR_{\min}) dos anos de 2021 e 2022, registados pela estação meteorológica associada ao pomar em estudo.

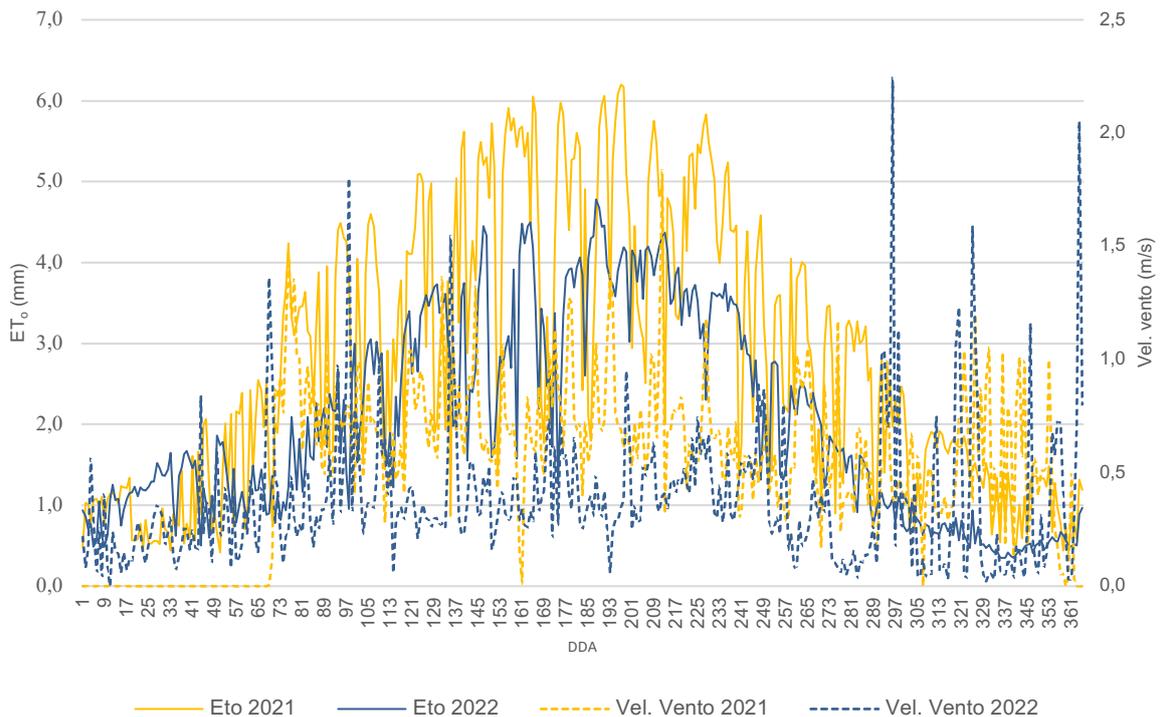


Figura 19 - Dados da ET₀, e velocidade do vento de 2021 e 2022, registados pela estação meteorológica associada ao pomar em estudo.

Verifica-se assim que os valores da ET₀ foram predominantemente mais elevados no ano de 2021. Para este facto muito contribuíram a velocidade do vento e a precipitação que foram mais elevados na maior parte dos dias do ano de 2021 que no ano de 2022.

2.3.3. CULTURA

O processo de calibração teve início com os coeficientes culturais e com a fração de esgotamento da água em conforto hídrico (p), parâmetros introduzidos no bloco da “Cultura”. Para iniciar este processo foram atribuídos valores a estas variáveis com base na FAO 56 (Allen et al., 1998) para a cultura do kiwi, no entanto, para o $K_{cb\ med}$ e para o $K_{cb\ fin}$ recorreu-se ao trabalho de atualização dos coeficientes culturais realizado por Rallo et al. (2021). No Quadro 6 estão apresentadas as datas em que no ano de 2022 foram registados os primeiros indícios da entrada das plantas em cada um dos estados de desenvolvimento, bem como todos os restantes parâmetros culturais, tabelados e medidos, necessários para a parametrização do modelo SIMDualKc.

Quadro 6 - Parâmetros culturais utilizados para dar início à calibração do modelo SIMDualKC

Estado desenvolvimento	Data	Profundidade raiz (m)	Altura da planta (m)	p	f_c	K_{cb}
Iniciação	10/03/2022				0,1	0,2
Crescimento rápido	05/05/2022				0,6	
Meia estação	03/06/2022	0,8	2	0,35	0,9	0,9
Maturação	04/09/2022				0,9	
Fim de estação/colheita	15/11/2022				0,4	0,8

Nota: p representa a fração de esgotamento da água em conforto hídrico, f_c a fração do solo sombreada pela cultura e K_{cb} o coeficiente basal cultural.

A fração do solo sombreada pela cultura (f_c) foi determinada por observação no campo ao meio-dia solar.

2.3.4. REGA

Conforme foi referido anteriormente, o sistema de rega utilizado no pomar em estudo é gota-a-gota. Considerou-se que a fração de solo molhada pela rega (f_w) neste sistema seria 0,25. As regas no ano de 2021 realizaram-se entre o início do mês de maio e o início de setembro. Em 2022 a rega teve início na mesma altura que em 2021, no entanto, prolongou-se até aos primeiros dias do mês de outubro.

Uma vez que, foram realizados dois ensaios de rega (completa e deficitária), para cada ano foram introduzidos no modelo dois calendários de rega. Os valores das quantidades de água foram introduzidos em mm.

2.3.5. ESCORRIMENTO, PERCOLAÇÃO EM PROFUNDIDADE, ASCENSÃO CAPILAR E COBERTO VEGETAL

Uma vez que o pomar em estudo se encontra localizado numa região que regista uma elevada precipitação foi necessário ter em consideração na modelação o escoamento, a ascensão capilar e a percolação em profundidade. Os valores atribuídos aos parâmetros destas extensões também foram sujeitos a calibração. Ao escoamento atribuiu-se o valor inicial de 68, uma vez que se estava a trabalhar com

um pomar com coberto vegetal num solo de textura média (Allen et al., 1998; USDA-SCS, 1972). A ascensão capilar e a percolação em profundidade foram dimensionadas com recurso às equações de Liu et al. (2006). Os valores iniciais atribuídos aos parâmetros da ascensão capilar foram definidos pela média aritmética entre os valores definidos por Liu et al. (2006) para o solo arenoso e argiloso, com exceção dos parâmetros a_1 e a_2 . Para o primeiro parâmetro foi atribuído o valor da capacidade de campo 305 e para o segundo foi atribuído 370,6 com recurso à Equação 10.

$$a_2 = \frac{1,1(W_{FC} + W_{WP})}{2} \quad 10$$

Onde W_{FC} representa a capacidade de campo e W_{WP} o ponto de emurchecimento permanente.

No Quadro 7 são apresentadas as profundidades do lençol freático (D_w) consideradas para os dois anos de estudo, necessárias no cálculo da AC.

Quadro 7 - D_w de 2021 e 2022

D_w 2021		D_w 2022	
Data	Profundidade (m)	Data	Profundidade (m)
10/03/2021	0,8	10/03/2022	1
05/05/2021	0,8	05/05/2022	0,9
26/06/2021	0,8	26/06/2022	0,9
20/07/2021	1	20/07/2022	1,1
28/08/2021	1	15/08/2022	2,5
13/09/2021	1	28/09/2022	3
15/11/2021	0,8	15/11/2022	2

O pomar em estudo possui um coberto vegetal na entrelinha ao qual se atribuiu uma densidade de 40% da cobertura do solo, na fase inicial do ciclo. O K_{cb} coberto atribuído foi de 0,1, com uma altura e densidade máximas de 20 centímetros e 60%, respetivamente. A partir da fase intermédia do ciclo vegetativo da actinídea, a copa cobre praticamente todo o solo, pelo que a penetração de luz solar é muito reduzida, o que resulta num forte enfraquecimento do coberto vegetal, descendo para uma densidade na ordem dos 20% de cobertura do solo.

2.4. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO

O procedimento de calibração e validação do modelo SIMDualKc utilizado neste trabalho teve como base o procedimento definido por Rosa et al. (2012b), que será detalhado se seguida. Esta metodologia faz a comparação entre os teores de água registados no solo e os valores simulados utilizando o modelo SIMDualKc. A simulação foi realizada através da introdução, no SIMDualKc, de todos os dados recolhidos no campo (apresentados anteriormente) e os tabelados. O processo de calibração consistiu no ajustamento dos parâmetros não observados (K_{cb} , p , TEW e REW, quantidade de água inicial no solo, ascensão capilar e percolação) relativos ao tratamento da rega deficitária de 2022, de forma a minimizar as diferenças entre os resultados da simulação e os reais. Este foi um processo de tentativa-erro que teve início com os valores de K_{cb} e p tabelados. Quando os valores destes dois parâmetros atingiram resultados próximos aos reais, o processo de tentativa-erro foi alargado aos parâmetros da ascensão capilar e percolação em profundidade, seguindo-se os parâmetros do solo e do escoamento, até que as diferenças entre a simulação e os valores reais foram minimizadas e estabilizadas. A validação do modelo consistiu em utilizar os valores calibrados para simular os restantes tratamentos (rega completa de 2022 e regas completa e deficitária de 2021).

Os resultados do processo de calibração foram avaliados qualitativamente e estatisticamente. A avaliação qualitativa foi realizada através da comparação gráfica do teor de água no solo medido em campo e o simulado pelo modelo. A avaliação estatística foi realizada através da regressão linear forçada à origem entre os valores observados (O) e os simulados (S). O coeficiente de regressão (b) é próximo de 1 quando a covariância é próxima da variância dos valores observados, o que indica que os valores simulados e observados são estatisticamente similares. O coeficiente de determinação (R^2) próximo de 1 significa que a maior parte da variância total dos valores observados é explicada pelo modelo (Rosa et al., 2012b).

No Quadro 8 são apresentadas as equações de todos os parâmetros utilizados por Rosa et al. (2012b) na avaliação da adequabilidade do modelo, onde O_i e S_i ($i=1,2,\dots,n$) representam os pares de valores observados e simulados para uma determinada variável.

Quadro 8 - Parâmetros de qualidade utilizados na validação do SIMDualKc por Rosa et al. (2012b)

Parâmetro	Equação
Coeficiente de regressão	$b = \frac{\sum_{i=1}^n O_i S_i}{\sum_{i=1}^n O_i^2}$
Coeficiente de determinação	$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{0,5} [\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]^{0,5}} \right)^2$
Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM)	$RQEM = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5}$
Erro Absoluto Médio (EAM)	$EAM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i - S_i $
Erro Relativo Médio (ERM)	$ERM = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left \frac{O_i - S_i}{O_i} \right $
Eficiência do Modelo (EM)	$EM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$
Índice de Concordância do modelo (d _{IC})	$d_{IC} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{O} + O_i - \bar{O})^2}$

Os autores sugerem ainda dois indicadores de adequabilidade do modelo: a eficiência do modelo (EM) e o índice de concordância do modelo (d_{IC}). No primeiro caso, EM será tanto maior quanto o rácio do erro quadrado médio e da variância dos dados simulados se aproximar de 0, ou seja, quanto mais EM se aproximar de 1. O índice de concordância do modelo corresponde ao rácio entre o erro quadrático médio e o “erro potencial” definido como a soma dos quadrados da soma das diferenças entre S_i e O_i relativamente aos valores médios observados. O valor máximo deste índice é 1, valor que representa o maior índice de concordância do modelo com os valores observados.

2.4.1. MEDIÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NO SOLO

As medições dos teores de água no solo observados foram realizadas quinzenalmente durante os meses de rega (entre maio e setembro) dos anos de 2021 e 2022, através de uma sonda capacitiva multi-profundidade – *Diviner 2000*[®].

A sonda *Diviner 2000*[®] (Figura 20), é constituída de um par de anéis metálicos (elétrodos) que funcionam como parte de um condensador eletrónico. A sonda regista o teor de humidade a cada 10 cm de profundidade.

Para a recolha destes dados, foram instalados 12 tubos de PVC, 6 em zona de rega completa e outros 6 em zona de rega deficitária, a 0,3 metros de distância da linha de rega e equidistantes de 2 gotejadores. A *Diviner 2000*[®] realizou 3 repetições em cada ponto de amostragem entre 0,1 m e 0,8 m.

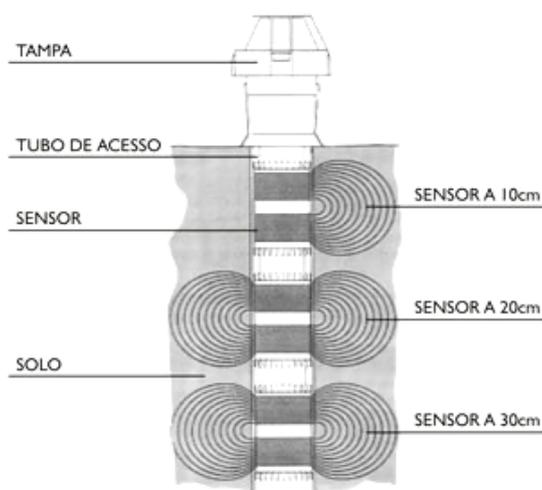


Figura 20 - Funcionamento de uma sonda capacitiva (Fonte: Sentek, 2023)

Os dados recolhidos foram tratados até se obter a quantidade média de água existente em cada um dos dias em que foram realizadas medições, numa profundidade de 80 cm de solo e em zona de rega completa e rega deficitária. Os dados recolhidos dizem respeito à quantidade total de água (mm) presente em 80 centímetros de profundidade do solo, no entanto, os resultados do SIMDualKc apenas incluem a quantidade de água que a planta consegue extrair do solo. Por este motivo, para efeitos de comparação de resultados, aos valores medidos no solo retirou-se o coeficiente de emurchecimento.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesta secção serão apresentados os resultados relativos à calibração dos parâmetros do modelo do SIMDualKc. Os resultados da simulação do modelo calibrado serão posteriormente comparados com os dados medidos em campo e apresentar-se-á uma avaliação quantitativa de desempenho do modelo. Segue-se uma análise do estudo do comportamento do coeficiente cultural e da evaporação da água do solo e, por fim, é apresentado o balanço hídrico gerado pelo SIMDualKc para cada um dos tratamentos.

3.1. CALIBRAÇÃO DOS PARÂMETROS E AVALIAÇÃO DO MODELO

A calibração do modelo do SIMDualKc é um processo de elevada importância, uma vez que visa ajustar os parâmetros de forma a minimizar as diferenças entre os teores de água no solo simulados e os valores observados (medidos em campo). Para este processo, conforme já foi mencionado, utilizaram-se os dados da estratégia de rega deficitária do ano de 2022, uma vez que foi neste tratamento que se registou maior variabilidade nos teores de água no solo. As restantes três estratégias de rega foram utilizadas na validação do modelo. O Quadro 9 apresenta todos os parâmetros do modelo que foram calibrados, bem como o seu valor padrão (utilizado para dar início a este processo) e ainda as fontes dos mesmos.

Os parâmetros culturais mantiveram-se praticamente inalterados no final do processo de calibração, com exceção do $K_{cb\ med}$ que se ajustou melhor à realidade observada em campo sendo três décimas mais baixo que o valor inicial. Verificou-se assim, que os valores do $K_{cb\ med}$ e do $K_{cb\ fin}$ são superiores aos apresentados por Silva et al. (2021) ($K_{cb\ med}=0,684$ e $K_{cb\ fin}=0,54$) e inferiores aos apresentados por Fandiño et al. (2012) ($K_{cb\ med}=1,15$ e $K_{cb\ fin}=0,9$) para a cultura da vinha no Noroeste Peninsular. Relativamente ao $K_{cb\ ini}$ verificou-se que neste caso ($K_{cb\ ini}=0,2$) era inferior face aos trabalhos anteriormente referidos em vinha ($K_{cb\ ini}=0,3$). Os parâmetros da camada evaporável do solo também se mantiveram inalterados neste processo. No decorrer da calibração percebeu-se que a ascensão capilar e a percolação em profundidade tinham uma grande influencia nos resultados do modelo e os valores atribuídos a estes parâmetros necessitavam realmente de calibração, pelo que todos sofreram alterações. Por sua vez, o valor CN manteve-se inalterado.

Quadro 9 - Valores padrão e calibrados dos parâmetros utilizados no SIMDualKc

Parâmetros	Padrão	Fonte	Calibrado
Parâmetros culturais			
$K_{cb\ in}$	0,2	(Allen et al., 1998)	0,2
$K_{cb\ med}$	0,9	(Rallo et al., 2021)	0,87
$K_{cb\ fin}$	0,8		0,8
p	0,35	(Allen et al., 1998)	0,35
Camada evaporável do solo			
TEW (mm)	22		22
REW (mm)	10	Caraterísticas do solo	10
Z_e (m)	0,1		0,1
Ascensão capilar			
a_1	305		320
b_1	-0,24		-0,18
a_2	270,6		305
b_2	-0,35	(Liu et al., 2006)	-0,4
a_3	-0,77		-0,9
b_3	4,45		4,2
a_4	4,33		5
b_4	-1,5		-1,8
Percolação em profundidade			
a_{DP}	305	(Liu et al., 2006)	325
b_{DP}	-0,0173		-0,03
Escorrimento (CN)	68	(USDA-SCS, 1972)	68

O resultado da simulação do teor de água no solo e os valores observados deste parâmetro estão apresentados, para cada um dos tratamentos, nos gráficos da Figura 21. Tal como foi referido, no tratamento da rega deficitária no ano de 2022 registou-se a maior variabilidade entre medições do teor de água no solo ao longo do período de rega. O resultado desta simulação revelou uma previsão ligeiramente abaixo dos valores observados até ao DDA 223, a partir do DDA 251 verificou-se o contrário. No caso da estratégia de rega completa do ano 2022, verificou-se uma tendência de sobrestimação na maior parte do período de análise. No ano de 2021 a variabilidade dos teores de água no solo observados foi muito baixa, principalmente no tratamento da rega completa. Este facto condicionou fortemente os resultados da avaliação do modelo para este tratamento, conforme se abordará de seguida. Na Figura 21 também é evidente a sensibilidade do modelo para os fenómenos de precipitação. Em cada dia do ano em que se registou precipitação o teor de água do solo simulado

revelou uma tendência ascendente, muito evidente nas fortes precipitações registadas no último trimestre dos 2 anos de estudo e também entre os DDA 110 e 139 nos tratamentos de 2021.

Como já foi referido, o desempenho do modelo calibrado foi medido com base na comparação dos teores de água no solo simulados e medidos (observados) em campo, através dos indicadores de qualidade apresentados por Rosa et al. (2012b). Os mesmos indicadores foram utilizados na validação do modelo para os restantes ensaios e estão apresentados no Quadro 10. O b é próximo de 1 em todos os ensaios, o que indica que o teor de água no solo simulado é próximo do observado. O coeficiente de determinação para os tratamentos de 2022 e para a rega deficitária de 2021 varia entre 0,83 e 0,9, o que indica que a maior parte da variância é explicada pelo modelo.

Quadro 10 - Indicadores de qualidade do ajustamento do modelo relativos à calibração e validação do modelo, usando os valores calibrados apresentados no Quadro 9

Ano	Rega	b	R^2	RQEM (mm)	EAM (mm)	ERM (%)	EM	d_{ic}
2022	Deficitária	0,94	0,90	8,10	6,79	8,64	0,84	0,96
	Completa	1,04	0,89	8,81	6,74	10,21	0,74	0,91
2021	Deficitária	0,99	0,83	3,38	2,61	2,87	0,79	0,95
	Completa	0,99	0,30	3,26	2,48	2,54	0,22	0,72

Os valores da raiz quadrada do erro médio variam entre 3,26 e 8,81 mm, o que representa (no pior cenário) cerca de 9% da TAW. O EAM é inferior a 7 mm para todos os tratamentos e o ERM é máximo também para o caso da rega deficitária de 2022, sendo cerca de 10,21%. Para os 3 primeiros tratamentos apresentados no Quadro 10 registou-se um elevado nível de eficiência do modelo, com valores entre 0,74 e 0,84, que indicam que a variância residual foi muito menor que a variância dos dados medidos, o que se traduz num bom desempenho do modelo. Estes tratamentos também registaram valores do índice de concordância do modelo superiores a 91%.

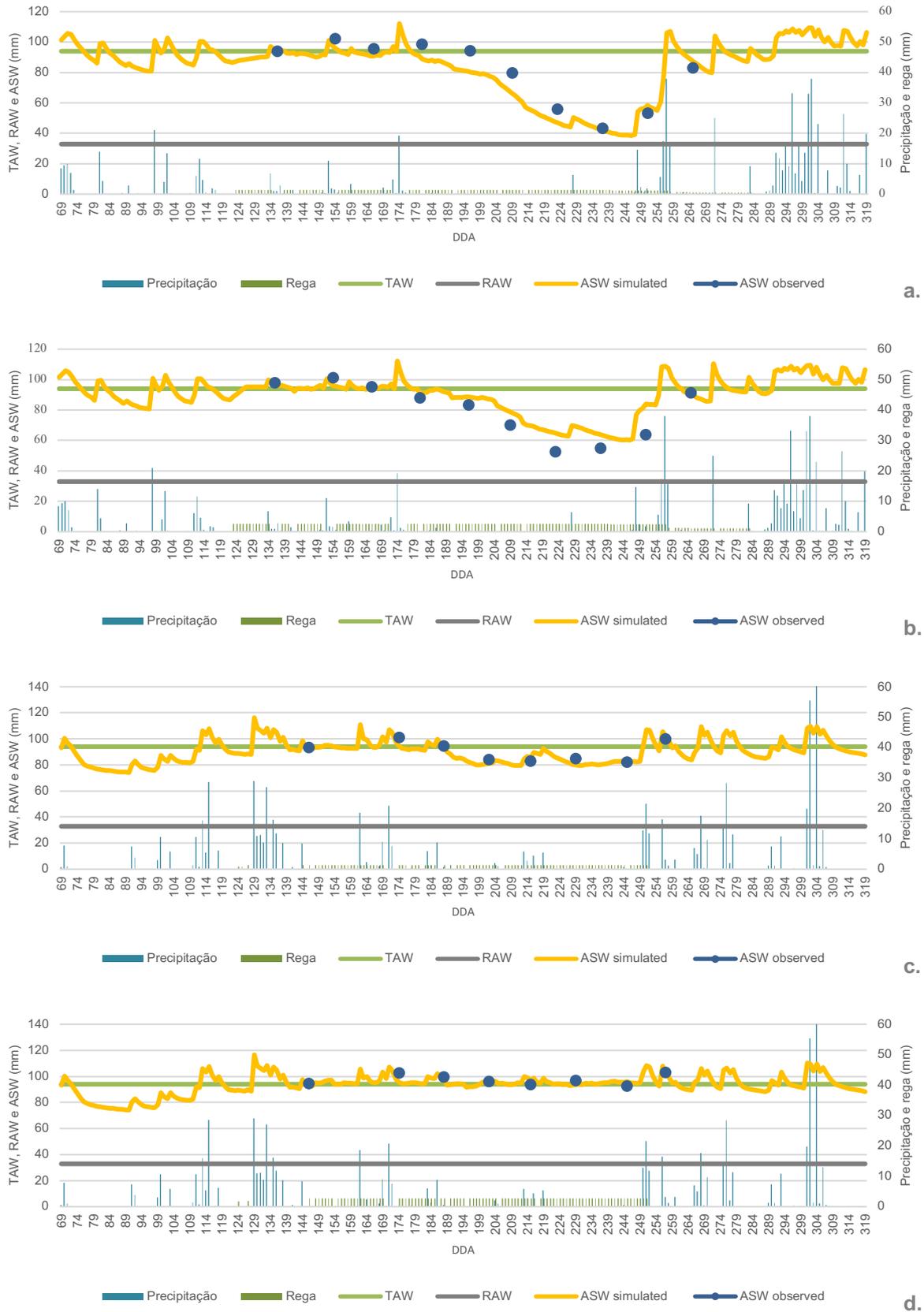


Figura 21 - Resultados da simulação e dos valores observados do teor de água no solo para os 4 tratamentos: a. rega deficitária 2022 (calibração), b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021, d. rega completa 2021.

De um modo geral, para os tratamentos de 2022 e para a rega deficitária de 2021 os indicadores de qualidade do ajuste demonstraram a capacidade do modelo para prever o teor de água no solo numa vasta gama de valores observados. Os resultados obtidos foram de qualidade próxima dos obtidos para a vinha por Fandiño et al. (2012) e Silva et al. (2021) e superiores, por exemplo, ao caso de estudo de Paço et al. (2014) desenvolvido em olival intensivo (resultados apresentados no Quadro 5). No entanto, estes resultados não foram tão expressivos no caso da rega completa de 2021. Este caso apresenta um elevado b e baixos erros, contudo, o facto de os teores de água no solo observados serem todos muito próximos gera dificuldades na explicação da variância do modelo, pelo que o R^2 é baixo, assim como a EM. Pensa-se que este facto estará relacionado com alguma fuga de água ocorrida junto aos tubos 1, 3 e 11 entre os dias 188 e 245, uma vez que, o teor de água no solo medido aos 10 e 20 cm de profundidade nesses tubos e nesse período foi sempre muito superior aos outros. Especialmente os tubos 1 e 3 apresentam diferenças acima de 6mm aos 10 cm e acima de 4mm aos 20cm relativamente aos restantes tubos.

3.2. COEFICIENTES BASAIS CULTURAIS E DE EVAPORAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

Os resultados obtidos nas simulações do SIMDualKc para K_e , K_{cb} e $K_{cb\ act}$, com $K_{cb\ act}=K_sK_{cb}$, estão apresentados no gráfico da Figura 22 para os 4 tratamentos. Para uma melhor perceção do comportamento destes coeficientes adicionou-se à informação destes gráficos a precipitação e a rega aplicada em cada um dos casos.

Uma vez que o K_e consiste no coeficiente de evaporação e atinge o seu valor máximo (1) quando o solo está completamente molhado, pode-se concluir que os resultados mostram que o comportamento do K_e foi ao encontro do expectável, uma vez que o seu valor aumentou sempre que se registou um fenómeno de precipitação. No entanto, nos gráficos da Figura 22 verifica-se que o valor de K_e foi tendencialmente superior na fase inicial do desenvolvimento da cultura face ao final, este facto é explicado pela copa da actínídea. A copa desta cultura vai aumentando a sua densidade ao longo do ciclo vegetativo, atingindo o seu máximo em meados de julho/agosto. Uma vez que, o pomar em estudo está estruturado em pérgola o solo fica praticamente todo coberto a partir deste período, o que baixa significativamente o potencial de evaporação, mesmo quando acontecem intensos fenómenos de precipitação.

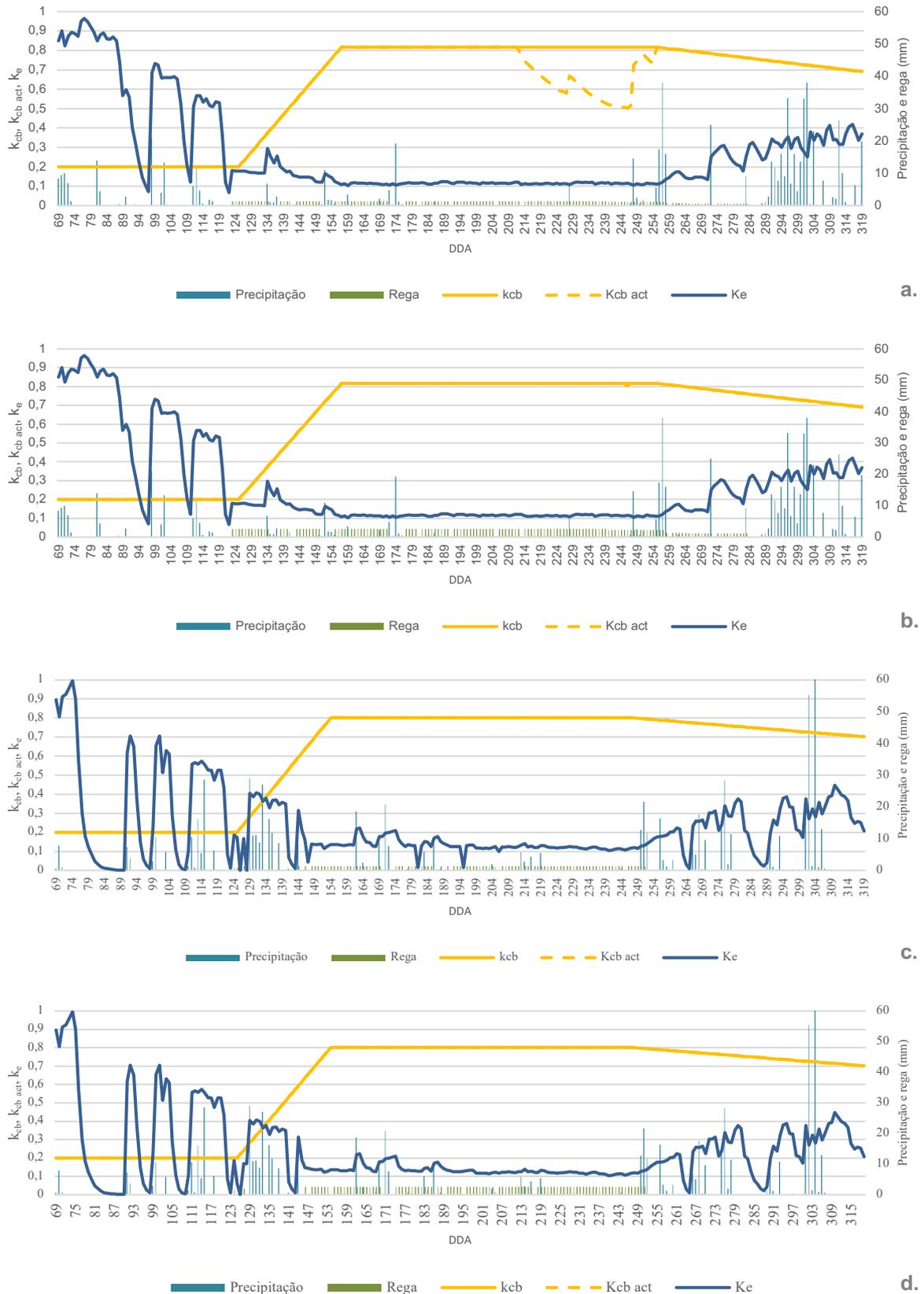


Figura 22 - Resultado da simulação relativos à precipitação, rega, K_{cb} , $K_{cb\ act}$ e K_e , relativos aos tratamentos: a. rega deficitária 2022, b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021 e d. rega completa 2021.

O efeito da rega no K_e foi muito baixo, o que é explicado pelo facto de a rega aplicada neste caso de estudo ser gota-a-gota, o que faz com que a fração de solo molhado seja muito reduzida.

No tratamento da rega deficitária do ano de 2022 verificou-se um período de stress hídrico, entre os dias 212 e 255, com a curva do $K_{cb\ act}$ abaixo da curva do K_{cb} (Figura 22 – a.). Este período de stress ocorreu durante o período de rega, no entanto, a profundidade de rega não foi suficiente para manter o conforto hídrico. O qual apenas foi restabelecido com as chuvas registadas no final da estação do verão. No tratamento da rega completa do ano de 2022 também se registou um ligeiro stress hídrico entre os dias 242 e 246, no entanto, este é praticamente imperceptível no gráfico da Figura 22 - b. No ano de 2021 não se verificou qualquer stress hídrico em ambos os tratamentos (Figura 22 – c. e d.).

3.3. COMPONENTES DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DO BALANÇO HÍDRICO

Os componentes do balanço hídrico calculados pelo modelo SIMDualKc estão apresentados no Quadro 11. Conforme já foi referido, o ano de 2021 foi o mais chuvoso, no entanto, no ano de 2022 foi aplicada uma maior profundidade de rega. Assim, a profundidade de água total precipitada e irrigada em cada tratamento foi de 800,5 e 805,6 mm nas regas deficitárias e 966,8 e 936,9 mm nas regas completas dos anos 2022 e 2021 respetivamente. No ano de 2021 verificou-se que o lençol freático esteve pouco profundo, entre os 0,8 e 1 metros de profundidade, o que fez com que o contributo da ascensão capilar para o balanço hídrico fosse muito significativo neste ano. Esta componente do balanço hídrico representou cerca de 30% e 28% das entradas de água nos tratamentos da rega deficitária e completa do ano 2021, respetivamente. O mesmo fenómeno não se verificou em 2022, no qual o lençol freático já se encontrava mais profundo, pelo que a ascensão capilar apenas representou 13% e 7% das entradas de água nos tratamentos da rega deficitária e completa, respetivamente.

O balanço hídrico dos 4 tratamentos apresentou uma grande quantidade de água de entrada. No entanto, por análise do Quadro 11 também se verifica uma grande quantidade de água perdida, isto é, não foi aproveitada pelas plantas nos seus processos fisiológicos. Estas perdas de água aconteceram por escoamento e por percolação em profundidade. No caso de estudo, o maior contributo para a perda de

água verificada no balanço hídrico foi dado pela percolação em profundidade, cerca de 90% e 87% de toda a água perdida nos casos das regas completas de 2022 e 2021, respetivamente. A quantidade total de água perdida relativamente à quantidade total de água de entrada foi de cerca de 41% e 44% em 2022 e 35% e 37% em 2021, nos tratamentos de rega deficitária e completa, respetivamente. Nos gráficos da Figura 23 pode observar-se o comportamento diário da água no solo ao nível das entradas e saídas na zona da raiz. Nestes gráficos é explícito o impacto da precipitação no fenómeno da percolação em profundidade. No trabalho desenvolvido por Darouich et al. (2022) num pomar de clementinas na Síria, também se verificaram elevadas perdas de água por percolação em profundidade, no entanto, neste caso concluiu-se que o que estaria a provocar este fenómeno seria a rega em excesso. A ascensão capilar teve maior impacto no período de rega de 2022, principalmente entre do DDA 159 e 204. No ano de 2021 o contributo da ascensão capilar foi muito superior ao de 2022, tendo sido especialmente relevante entre os DDA 149 e 249. O escoamento deu-se apenas aquando das precipitações mais intensas.

Quadro 11 - Componentes do balanço de água no solo calculados pelo modelo SIMDualKc, para os 4 tratamentos em estudo

Tratamento	P	I	Esc	DP	AC	Δ TAS	ET _{c act}	T _{c act}	E _s	E _s /ET _{c act} (%)
2022										
Rega deficitária	634,2	166,3	44,9	330,9	120,8	-12,5	526,4	387,9	138,6	26%
Rega completa	634,2	332,6	44,9	409,5	69,1	-12,5	551,8	413,3	138,6	25%
2021										
Rega deficitária	682,4	123,2	61,1	338,7	346,9	7,7	736,3	561,7	174,6	24%
Rega completa	682,4	254,5	61,1	412,2	355,8	7,5	738,3	561,7	176,6	24%

Nota: P representa a quantidade de água precipitada, I a irrigada, Esc o escoamento, DP a percolação em profundidade, AC a ascensão capilar, Δ TAS o armazenamento de água no solo, ET_{c act} a evapotranspiração cultural real, T_{c act} a transpiração cultural real e E_s a evaporação do solo. Todos os valores estão em mm.



Figura 23 - Valores diários da AC, DP e Esc calculados pelo modelo SIMDualKc, I e P diárias relativos aos tratamentos: a. rega deficitária 2022, b. rega completa 2022, c. rega deficitária 2021 e d. rega completa 2021.

A evapotranspiração cultural é a variável do balanço hídrico que mede a quantidade de água utilizada na transpiração da cultura e na evaporação do solo. No caso em estudo estas quantidades foram expressivamente superiores no ano de 2021 (Quadro 11). No entanto, a nível percentual a transpiração cultural e a evaporação do solo tiveram um peso no valor da evapotranspiração cultural muito semelhante em todos os tratamentos. A evaporação do solo teve um impacto de aproximadamente 25% na $ET_{c\ act}$, enquanto os restantes 75% foram consumidos pela transpiração da cultura (Quadro 11). Estes resultados situam-se dentro do intervalo apresentado por Silva et. al (2008), que num trabalho desenvolvido no mesmo pomar calculou uma fração de água evaporada face à evapotranspiração da cultura situada entre 15 e 35%. Estes valores foram calculados com base em 10 medições da E_s realizadas por um conjunto de 6 lisímetros.

O armazenamento da água no solo teve pouco impacto no balanço hídrico anual em todos os tratamentos. Isto significa que a água extraída do solo foi substituída pela água proveniente da rega, precipitação e ascensão capilar. Ainda assim, no ano de 2021 verificou-se um aumento do armazenamento da água no solo ligeiramente superior a 7 mm nos dois tratamentos, enquanto nos tratamentos de 2022 se verificou uma redução de 12,5 mm.

3.3.1. IMPACTO DO LENÇOL FREÁTICO NO BALANÇO HÍDRICO

Após o processo de calibração e validação do modelo, aquando da análise do balanço hídrico percebeu-se que este não estava completo em nenhum dos tratamentos. Isto é, o balanço hídrico gerado pelo modelo SIMDualKc, que é apresentado no Quadro 11, tem um resultado negativo em todos os tratamentos, ou seja, a quantidade de água extraída do solo é inferior à de entrada.

Perante este cenário, devido aos elevados resultados da AC e DP e, uma vez que tínhamos um lençol freático pouco profundo, optou-se por estudar o impacto desta última variável sobre as primeiras e, conseqüentemente, sobre o balanço hídrico. Neste sentido realizou-se uma análise de sensibilidade ao impacto da profundidade do lençol freático, percebendo-se que com profundidades iguais ou superiores a 1,2 metros o balanço hídrico fechava. No entanto, estas alterações fizeram com que os indicadores de qualidade do modelo baixassem significativamente, com exceção do caso da rega completa de 2022, conforme se pode observar no Quadro 12.

Quadro 12 - Indicadores de qualidade do modelo relativos à calibração e validação do modelo para um lençol freático mínimo de 1,2 m

Ano	Rega	b	R ²	RQEM (mm)	EAM (mm)	ERM (%)	EM	d
2022	Deficitária	0,86	0,76	14,43	12,20	18,04	0,50	0,86
	Completa	1,00	0,87	7,48	5,72	9,36	0,81	0,93
2021	Deficitária	0,84	0,88	16,65	15,13	18,44	-4,20	0,61
	Completa	0,88	0,57	13,57	11,90	13,93	-12,51	0,39

Nota: P representa a quantidade de água precipitada, I a irrigada, Esc o escoamento, DP a percolação em profundidade, AC a ascensão capilar, Δ TAS o armazenamento de água no solo, $ET_{c\ act}$ a evapotranspiração cultural real, $T_{c\ act}$ a transpiração cultural real e E_s a evaporação do solo. Todos os valores estão em mm.

Perante estes resultados percebemos que a profundidade do lençol freático considerada estava correta, uma vez que os teores de água no solo medidos no período de rega assim o confirmavam. No entanto, o modelo apresentava debilidades na simulação em terrenos com lençóis freáticos de baixa profundidade e com problemas de ascensão capilar.

4. CONCLUSÃO

No presente trabalho foi utilizado o modelo SIMDualKc para calibrar os coeficientes culturais da *A. deliciosa* cv. “Hayward”, num pomar situado em São Salvador de Briteiros, Guimarães, num solo franco-argilo-arenoso. Este modelo tem como base o princípio do coeficiente dual que permite estudar com maior detalhe o comportamento da água no solo, uma vez que, analisa separadamente a T_c e a E_s . Este modelo permitiu ainda estudar a dinâmica da restante água no solo, isto é, a água perdida por escorrimento e DP, bem como a água que entra na zona das raízes por AC. Estes movimentos de água resultam de fenómenos de elevada precipitação (comuns na zona de localização do pomar) ou quando é aplicada rega em excesso.

Para a calibração do modelo foram utilizados os dados da rega deficitária de 2022, enquanto os restantes tratamentos foram utilizados para validar o modelo (rega completa de 2022 e regas deficitária e completa de 2021). Do processo de calibração resultou um $K_{cb\ ini}$ de 0,2, um $K_{cb\ med}$ de 0,87 e um $K_{cb\ fin}$ de 0,8. O único destes valores que se alterou com a calibração foi o $K_{cb\ med}$, ainda assim, mantém-se dentro do intervalo indicado por Rallo et al. (2021) ($K_{cb\ med}=0,9\pm 10\%$). Os resultados desta calibração foram de elevada qualidade nos tratamentos de 2022 e rega deficitária de 2021. Ao nível dos indicadores estatísticos, o modelo apresentou, para os 3 tratamentos indicados, um b próximo de 1 e um R^2 superior a 0,83. Relativamente aos restantes indicadores de qualidade o modelo apresentou sempre uma RQEM inferior a 8,81mm, um EAM inferior a 6,79mm, um ERM inferior a 10,21%, um EM superior a 74% e um d_{IC} superior a 91%. No caso da rega completa de 2021 os valores observados aproximam-se dos simulados, pelo que o b é de 0,99 e os erros são muito baixos. No entanto, uma vez que os valores observados são muito semelhantes entre si a variância é pouco explicada pelo modelo, por isso, este tratamento apresenta um baixo R^2 e EM. Pensa-se que esta constatação é explicada por uma fuga de água junto aos tubos 1, 3 e 11.

A E_s anual apresentou valores próximos de 25% da $ET_{c\ act}$, valores congruentes com os medidos no mesmo pomar no trabalho desenvolvido por Silva et al. (2008). O balanço da água no solo demonstrou ainda que a AC e a DP tiveram um grande impacto da atividade da água no solo. Este facto pode ter sido motivado pelas elevadas precipitações registadas, principalmente no ano de 2021, e também pelo

facto do pomar de situar num terreno com um lençol freático pouco profundo. Percebeu-se ainda que o modelo apresenta limitações de simulação perante estas condições, uma vez que o balanço hídrico gerado não se encontrava fechado em nenhum dos tratamentos. No entanto, quando a profundidade do lençol freático foi aumentada para valores iguais ou superiores a 1,2 m a AC e a DP baixaram e o balanço hídrico apresentou um resultado nulo. No entanto, esta profundidade do lençol freático não representava a realidade do terreno em estudo, como se pode verificar pelos indicadores de desempenho do modelo que baixaram significativamente.

Conclui-se assim que a actinídea possui características específicas que tornam a sua rega num fator determinante ao sucesso da cultura. Isto porque necessita de um solo permanentemente molhado, mas sem que exista encharcamento das raízes. No entanto, a partir da fase intermédia do seu ciclo vegetativo os pomares de actinídeas, especialmente os conduzidos em pérgola, formam uma densa copa o que reduz significativamente a E_s . O pomar em estudo apresentava ainda desafios acrescidos devido ao seu lençol freático pouco profundo. Apesar destas dificuldades, considera-se que os parâmetros calibrados pelo modelo, particularmente o K_{cb} e p , podem ser utilizados com segurança como parâmetros pré-definidos para apoiar a gestão da rega da *A. deliciosa* cv. “Hayward” para as práticas culturais e condições edafoclimáticas do Noroeste Peninsular. Esta conclusão é fundamentada não apenas nos bons resultados dos indicadores de qualidade do modelo, mas também com a coerência dos valores calibrados com os apresentados na literatura para a cultura do kiwi.

Por fim, como trabalho futuro sugere-se que o estudo apresentado seja alargado a mais pomares da região Norte, dando robustez aos resultados obtidos neste trabalho e alargando-o a pomares com diferentes características edafoclimáticas. Tendo em consideração a crescente importância económica desta cultura no país, seria oportuno fornecer um consistente conjunto de dados para diferentes condições edafoclimáticas, de modo a servir de suporte a uma eficiente gestão da rega desta cultura. Seria também importante rever os processos de cálculo do modelo SIMDualKc em casos de simulação em terrenos com lençol freático pouco profundo e zonas em que ocorrem chuvas importantes, analisando o problema detetado neste trabalho.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G. (2000). Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *Journal of Hydrology*, 27–41. www.elsevier.com/locate/jhydrol
- Allen, R. G., & Pereira, L. S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*, 28(1), 17–34. <https://doi.org/10.1007/s00271-009-0182-z>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Cacioppo, O. (1989). *O cultivo do quivi (1ª)*. EDITORIAL PRESENÇA.
- Carneiro, R. M. D. G., Randig, O., Ritta, M., Almeida, A., Cristina, A., & Gomes, M. M. (2004). Additional information on *Meloidogyne ethiopica* Whitehead, 1968 (Tylenchida: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitising kiwi fruit and grape-vine from Brazil and Chile. In *Nematology* (Vol. 6, Issue 1). www.brill.nl
- Cunty, A., Cesbron, S., Poliakoff, F., Jacques, M. A., & Manceau, C. (2015). Origin of the outbreak in France of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3, the causal agent of bacterial canker of kiwifruit, revealed by a multilocus variable-number tandem-repeat analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(19), 6773–6789. <https://doi.org/10.1128/AEM.01688-15>
- Darouich, H., Karfoul, R., Ramos, T. B., Moustafa, A., & Pereira, L. S. (2022). Searching for Sustainable-Irrigation Issues of Clementine Orchards in the Syrian Akkar Plain: Effects of Irrigation Method and Canopy Size on Crop Coefficients, Transpiration, and Water Use with SIMDualKc Model. *Water (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/w14132052>
- Darouich, H., Karfoul, R., Ramos, T. B., & Pereira, L. S. (2023). Setting Irrigation Thresholds for Building a Platform Aimed at the Improved Management of Citrus Orchards in Coastal Syria. *Agronomy*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy13071794>

- Di Biase, R., Calabritto, M., Sofo, A., Reyes, F., Mininni, A. N., Mastroleo, M., Xylogiannis, E., & Dichio, B. (2023). Assessment of kiwifruit physiological decline: irrigation and soil management strategy to recover from waterlogging. *Acta Horticulturae*, 1373, 11–18. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1373.3>
- Di Marco, S., Calzarano, F., Gams, W., & Cesari, A. (2000). A new wood decay of kiwifruit in Italy. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 28(1), 69–72. <https://doi.org/10.1080/01140671.2000.9514124>
- Di Marco, S., Calzarano, F., Osti, F., & Mazzullo, A. (2004). Pathogenicity of fungi associated with a decay of kiwifruit. *Australasian Plant Pathology*, 33(3), 337–342. <https://doi.org/10.1071/AP04024>
- Dichio, B., Baldassarre, R., Nuzzo, V., Biasi, R., & Xylogiannis, C. (1999). Hydraulic conductivity and xylem structure in young kiwifruit vines. *4th Int. Kiwi Symp.*
- Doorenbos, J., & Pruitt, W. O. (1975). Guidelines for predicting crop water requirements. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*.
- Fandiño, M., Cancela, J. J., Rey, B. J., Martínez, E. M., Rosa, R. G., & Pereira, L. S. (2012). Using the dual-K c approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agricultural Water Management*, 112, 75–87. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.06.008>
- Fandiño, M., Olmedo, J. L., Martínez, E. M., Valladares, J., Paredes, P., Rey, B. J., Mota, M., Cancela, J. J., & Pereira, L. S. (2015). Assessing and modelling water use and the partition of evapotranspiration of irrigated hop (*Humulus Lupulus*), and relations of transpiration with hops yield and alpha-acids. *Industrial Crops and Products*, 77, 204–217. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.042>
- FAO. (2023). *Crops and livestock products*. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Félix, A. P., Cavaco, M., & Xavier, A. (2008). Pragas da cultura. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 120–132). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.
- Ferguson, A. R. (1984). *Kiwifruit: A Botanical Review* (J. Janick, Ed.; Vol. 6, pp. 1–53). AVI.

- Ferguson, A. R. (2013). Kiwifruit. The Wild and the Cultivated Plants. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 68, pp. 15–32). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394294-4.00002-X>
- Franco, J. (2008). História e desenvolvimento comercial. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 13–19). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.
- Garcia, E., Moura, L., Abelleira, A., Aguín, O., Ares, A., & Mansilla, P. (2018). Characterization of *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* biovar 3 on kiwifruit in north-west Portugal. *Journal of Applied Microbiology*, 125(4), 1147–1161. <https://doi.org/10.1111/jam.13943>
- Gattullo, C. E., Mezzapesa, G. N., Stellacci, A. M., Ferrara, G., Occhiogrosso, G., Petrelli, G., Castellini, M., & Spagnuolo, M. (2020). Cover crop for a sustainable viticulture: Effects on soil properties and table grape production. *Agronomy*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/agronomy10091334>
- Giménez, L., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2017). Water use and yield of soybean under various irrigation regimes and severe water stress. Application of AquaCrop and SIMDualKc models. *Water (Switzerland)*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/w9060393>
- Greenwood, K. L., Lawson, A. R., & Kelly, K. B. (2009). The water balance of irrigated forages in northern Victoria, Australia. *Agricultural Water Management*, 96(5), 847–858. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2008.11.005>
- Guroo, I., Wani, S. A., Wani, S. M., Ahmad, M., Mir, S. A., & Masoodi, F. A. (2017). A Review of Production and Processing of Kiwifruit. *Journal of Food Processing & Technology*, 8(10). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000699>
- Harvey, C. F., Fraser, L. G., Pavis, S. E., & Considine, J. A. (1987). FLORAL BIOLOGY OF TWO SPECIES OF ACTINIDIA (ACTINIDIACEAE). I. THE STIGMA, POLLINATION, AND FERTILIZATION. *Botanical Gazette*, 148, 426–432. www.journals.uchicago.edu
- Howell, T. A., Asce, M., Evett, ; S R, Tolck, ; J A, & Schneider, A. D. (2004). Evapotranspiration of Full-, Deficit-Irrigated, and Dryland Cotton on the Northern

- Texas High Plains. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 130, 277–285.
<https://doi.org/10.1061/ASCE0733-94372004130:4277>
- Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2021). *Estatísticas Agrícolas 2020*.
- Instituto Nacional de Estatística, I. P. (2023). *Estatísticas Agrícolas 2022*.
- Instituto Português do Mar e da Atmosfera. (2023). *Normais Climatológicas*.
<https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- Liu, Y., Pereira, L. S., & Fernando, R. M. (2006). Fluxes through the bottom boundary of the root zone in silty soils: Parametric approaches to estimate groundwater contribution and percolation. *Agricultural Water Management*, 84(1–2), 27–40. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.01.018>
- López-Urrea, R., Martín de Santa Olalla, F., Montoro, A., & López-Fuster, P. (2009). Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *Agricultural Water Management*, 96(6), 1031–1036. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.02.004>
- Mendes, F., & Cavaco, M. (2008). Infestantes. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 157–169). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.
- Merwin, I. (2004). Groundcover Management Effects on Orchard Production, Nutrition, Soil and Water Quality. *New York Fruit Quarterly*, 12, 20–24. <https://www.researchgate.net/publication/242781703>
- Miller, S. A., Smith, G. S., Boldingh, H. L., & Johansson, A. (1998). Effects of Water Stress on Fruit Quality Attributes of Kiwifruit. *Annals of Botany*, 81, 73–81.
- Neves, N. (2008). Morfologia e fisiologia. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 29–39). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.
- Oliveira, M., & Silva, R. (2008). Rega da actinídea. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 84–90). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.

- Oliveira, M. T., & Merwin, I. A. (2001). Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. In *Plant and Soil* (Vol. 234).
- Oliveira, M., & Veloso, F. (2008). Exigências edafo-climáticas. In *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 43–53).
- Paço, T. A., Ferreira, M. I., Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Conceição, N., Pacheco, C. A., & Pereira, L. S. (2012). The dual crop coefficient approach using a density factor to simulate the evapotranspiration of a peach orchard: SIMDualKc model versus eddy covariance measurements. *Irrigation Science*, 30(2), 115–126. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0267-3>
- Paço, T. A., Pôças, I., Cunha, M., Silvestre, J. C., Santos, F. L., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2014). Evapotranspiration and crop coefficients for a super intensive olive orchard. An application of SIMDualKc and METRIC models using ground and satellite observations. *Journal of Hydrology*, 519(PB), 2067–2080. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.075>
- Pereira, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2009). Coping with water scarcity: Addressing the challenges. In *Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9579-5>
- Pereira, L. S., Paredes, P., & Jovanovic, N. (2020). Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management*, 241. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2020.106357>
- Pereira, L. S., Paredes, P., Melton, F., Johnson, L., Wang, T., López-Urrea, R., Cancela, J. J., & Allen, R. G. (2020). Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Background and validation using ground and remote sensing data. In *Agricultural Water Management* (Vol. 241). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106197>
- Pereira, L. S., Paredes, P., Rodrigues, G. C., & Neves, M. (2015). Modeling malt barley water use and evapotranspiration partitioning in two contrasting rainfall years. Assessing AquaCrop and SIMDualKc models. *Agricultural Water Management*, 159, 239–254. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.06.006>

- Pereira, L. S., Teodoro, P. R., Rodrigues, P. N., & Teixeira, J. L. (2003). IRRIGATION SCHEDULING SIMULATION: THE MODEL ISAREG. *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*, 161–180.
- Petry, M. T., Magalhães, T. F., Paredes, P., Martins, J. D., Ferrazza, C. M., Hünemeier, G. A., & Pereira, L. S. (2023). Water use and crop coefficients of soybean cultivars of diverse maturity groups and assessment of related water management strategies. *Irrigation Science*. <https://doi.org/10.1007/s00271-023-00871-w>
- Popova, Z., & Pereira, L. S. (2011). Modelling for maize irrigation scheduling using long term experimental data from Plovdiv region, Bulgaria. *Agricultural Water Management*, 98(4), 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.11.009>
- Qiu, R., Du, T., Kang, S., Chen, R., & Wu, L. (2015). Assessing the SIMDualKc model for estimating evapotranspiration of hot pepper grown in a solar greenhouse in Northwest China. *Agricultural Systems*, 138, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.001>
- Rallo, G., Paço, T. A., Paredes, P., Puig-Sirera, Massai, R., Provenzano, G., & Pereira, L. S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. In *Agricultural Water Management* (Vol. 250). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. da C., Martins, J. C., & Pereira, L. S. (2016). *Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas*. INIAV.
- Ran, H., Kang, S., Li, F., Tong, L., Ding, R., Du, T., Li, S., & Zhang, X. (2017). Performance of AquaCrop and SIMDualKc models in evapotranspiration partitioning on full and deficit irrigated maize for seed production under plastic film-mulch in an arid region of China. *Agricultural Systems*, 151, 20–32. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.11.001>
- Ritchie, J. T. (1998). Soil water balance and plant water stress. *Understanding Options for Agricultural Production*, 41–54.
- Rodrigues, G. C., & Pereira, L. S. (2009). Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems*

Engineering, 103(4), 536–551.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.05.002>

Rodrigues, S. (2008). Condução e poda. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 58–68). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.

Rolim, J., Godinho, P., Sequeira, B., Paredes, P., & Pereira, L. S. (2007). ASSESSING THE SIMDualKc MODEL FOR IRRIGATION SCHEDULING SIMULATION IN MEDITERRANEAN ENVIRONMENTS. *Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches*, 1(56), 49–61.

Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Fernando, R. M., Pereira, L. S., & Allen, R. G. (2012). Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. *Agricultural Water Management*, 103, 8–24. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.013>

Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., & Pereira, L. S. (2007). O modelo SIMDualKc para a simulação da rega e geração de calendários de rega. *Gestão Do Risco Em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios*, 279–300. <https://www.researchgate.net/publication/237223393>

Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Fernando, R. M., Alves, I., Pereira, L. S., & Allen, R. G. (2012). Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software: 2. Model testing. *Agricultural Water Management*, 103, 62–77. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.018>

Rosa, R. D., Ramos, T. B., & Pereira, L. S. (2016). The dual Kc approach to assess maize and sweet sorghum transpiration and soil evaporation under saline conditions: Application of the SIMDualKc model. *Agricultural Water Management*, 177, 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.028>

Salinero, M. C., Vela, P., & Sainz, M. J. (2009). Phenological growth stages of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* 'Hayward'). *Scientia Horticulturae*, 121(1), 27–31. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.01.013>

Satpal, D., Kaur, J., Bhadariya, V., & Sharma, K. (2021). *Actinidia deliciosa* (Kiwi fruit): A comprehensive review on the nutritional composition, health benefits, traditional utilization, and commercialization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(6). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15588>

- Sentek. (2023). *Diviner 2000*. <https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/diviner-2000/>
- Silva, R. M., Paço, T. A., Ferreira, M. I., & Oliveira, M. (2008). Transpiration of a Kiwifruit Orchard Estimated Using the Granier Sap Flow Method Calibrated under Field Conditions. *Vth IS on Irrigation of Hort. Crops*.
- Silva, S. P., Valín, M. I., Mendes, S., Araujo-Paredes, C., Cancela, J. J., Silva, L. L., Barbosa, C., Fitas Da Cruz, V., Sousa, A., Silva, R., & Lourenço, P. (2021). Dual Crop Coefficient Approach in *Vitis vinifera* L. cv. Loureiro. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy>
- Smith, G. S., & Walton, E. F. (2000). KIWIFRUIT. In *Temperate Fruit Crops in Warm Climates* (pp. 367–379). The Horticulture and Food Research Institute of New Zealand.
- Sofia, J. (2003). Doenças do kiwi. *Regularidade Produtiva, Qualidade e Conservação Dos Frutos Da Actinídea Nas Regiões Entre Douro e Minho e Beira Litoral*.
- Sofia, J. (2008). Doenças da actinídea. In M. D. Antunes (Ed.), *Kiwi - Da produção à comercialização* (pp. 170–185). Universidade do Algarve, Ciências da Terra.
- Spada, G., & Marini, F. (2001). Guida illustrata alla coltivazione dell'actinidia. In *Vita in campagna*. EDITORI GIORNALI.
- Tolk, J. A., Howell, T. A., Tolk, J. A., & Howell, T. A. (2001). MEASURED AND SIMULATED EVAPOTRANSPIRATION OF GRAIN SORGHUM GROWN WITH FULL AND LIMITED IRRIGATION IN THREE HIGH PLAINS SOILS. *Transactions of the ASAE*, 44(6), 1553–1558.
- Torres-Ruiz, J. M., Perulli, G. D., Manfrini, L., Zibordi, M., Lopez Velasco, G., Anconelli, S., Pierpaoli, E., Corelli-Grappadelli, L., & Morandi, B. (2016). Time of irrigation affects vine water relations and the daily patterns of leaf gas exchanges and vascular flows to kiwifruit (*Actinidia deliciosa* Chev.). *Agricultural Water Management*, 166, 101–110. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.12.012>
- UNEP. (2002). Global Environment Outlook 3: Past, Present and Future Perspectives. *Environmental Management and Health*, 13(5), 560–561. <https://doi.org/10.1108/emh.2002.13.5.560.1>

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. (2019). *Kiwifruit, green, raw*. FoodData Central Search Results. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168153/nutrients>

USDA-SCS. (1972). NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK. In V. Mckeever, W. Owen, & R. Rallison (Eds.), *Hydrology*.

ANEXOS

Anexo 1 – Caracterização do pomar em estudo

Quadro 13 - Caracterização do pomar em estudo

Local	São Salvador de Briteiros, Guimarães
Coordenadas geográficas	41.51, -8.32
Altitude	146 metros
Área total	11 ha
Cultivar feminina	“Hayward”
Cultivares masculinas	Matua e Tomuri
Ano de plantação	1988
Ano de reconversão	2000
Forma de condução	Pérgola
Compasso de plantação	2,5x5 metros
Altura ao eixo da planta	2 metros
Orientação das linhas de plantação	E-O
Sistema de rega	Gota-a-gota
