

Diagnóstico de um sistema de rega gota-a-gota instalado num pomar de ameixeiras

Francisco Correia Pires da Mota

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Agronómica

Orientadores: Professora Paula Cristina Santana Paredes

Professor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes

Júri:

Presidente: Doutor Henrique Manuel Filipe Ribeiro, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutor José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado Jubilado do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutor Joaquim Miguel Rangel da Cunha Costa, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Doutor João Rui Rolim Fernandes Machado Lopes, Professor Auxiliar do(a) Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Concluída mais uma etapa importante da minha vida, não poderia deixar de manifestar a mais profunda gratidão a todos aqueles que me auxiliaram e ajudaram para a concretização deste trabalho.

Em primeiro lugar, quero agradecer à minha família, em particular aos meus pais, que me deram asas, para poder voar e seguir os meus sonhos e que me deram todas as condições para os poder realizar. Agradecer pelo apoio que me deram desde que tomei a decisão de seguir Engenharia Agronómica, assim como por tudo o que me ensinaram, mas também por tudo o que sempre fizeram por mim.

Aos meus orientadores, a Professora Paula Paredes e ao Professor João Rolim Lopes, pela entrega, incentivo, orientação e acompanhamento que me deram durante todo o tempo que demorou este trabalho. Também é de agradecer toda a disponibilidade, a paciência e, sem dúvida alguma, os preciosos conselhos, indicações e sugestões que me forneceram.

Estou igualmente grato a todos os meus colegas e amigos que me acompanharam ao longo destes anos no Instituto Superior de Agronomia (ISA), que ininterruptamente me apoiaram e que, ao longo deste tempo, foram um grande apoio, nomeadamente, ao Miguel Araújo, à Carolina Sarmiento e à Inês Malvas Santos.

Para finalizar, agradecer ao Professor José Luís Teixeira por toda a ajuda e esclarecimentos prestados sobre o esquema do sistema de rega, assim como, do equipamento e funcionamento da casa da rega; à Professora Cristina Oliveira pela ajuda na identificação das variedades presentes no pomar; à equipa do departamento de solos, em particular ao Professor Nuno Cortez, pela ajuda dada na classificação do perfil do solo e do respetivo solo onde se localiza o pomar; à Professora Érika Santos, ao Engenheiro Paulo Marques, à Sra. D. Maria João e à Sra. D. Conceição por toda a ajuda disponibilizada na elaboração das análises de solo.

Um obrigado a todos!

Resumo

A água tem-se tornado um recurso mais escasso devido ao aumento da frequência de eventos extremos, em particular as secas, assim como pelo aumento pela procura de água por diversos sectores. Importa deste modo potenciar a eficiência dos sistemas de rega existentes, reduzindo as perdas de água, diminuindo a necessidade de mão-de-obra e uniformizando a produção.

A presente dissertação de mestrado focou-se na caracterização e na avaliação do desempenho e do projeto de um sistema de rega gota-a-gota instalado num pomar de ameixeiras, localizado no Instituto Superior de Agronomia, que possui diversas variedades de ameixeira tais como a Rainha Cláudia Verde, Primetime, Black Splendor, Black Diamond, Pioneer e Fortune. A avaliação permitiu determinar o coeficiente de uniformidade e o coeficiente de uniformidade de distribuição assim como diagnosticar problemas existentes ao nível do projeto do sistema, como variações de pressão devidas quer a perdas de carga nas condutas e nos equipamentos acessórios, assim como os decorrentes de uma inadequada manutenção do equipamento, como por exemplo, da deficiente limpeza dos filtros e do entupimento dos emissores. Na avaliação do sistema de rega detetou-se que as rampas não se encontram instaladas corretamente, assim como, os gotejadores não se encontram a uma distância uniforme do tronco da árvore o que acaba por influenciar a uniformidade de distribuição ao longo das rampas.

A uniformidade de distribuição do sistema foi de 69%, ou seja, o sistema de rega apresenta uma uniformidade satisfatória. No final deste estudo, para além de serem sugeridas sugestões de melhoramento do sistema de rega avaliado, como por exemplo a substituição das rampas e os gotejadores, também são disponibilizados um conjunto de boas práticas de modo a se alcançar a adequada manutenção e gestão dos sistemas de rega que potenciem a utilização mais eficiente da água de rega.

Palavras-chave: *Prunus domestica*; Eficiência e uniformidade de aplicação; Manutenção dos sistemas de rega; Necessidades hídricas de pomares; Projeto de rega.

Abstract

Water has become a scarcer resource due to the increasing frequency of extreme events, particularly droughts, as well as the increasing demand for water by the various sectors. Therefore it is important to increase the efficiency of existing irrigation systems, reducing water losses, reducing the need for labor and standardizing production.

The present master's thesis focused on the characterization and evaluation of the performance and design of a drip irrigation system installed in a plum orchard, located in the Instituto Superior de Agronomia, which has several varieties of plum trees such as Green Rainha Claudia, Primetime, Black Splendor, Black Diamond, Pioneer and Fortune. The evaluation allowed to determine the uniformity coefficient and the distribution uniformity coefficient as well as to diagnose existing problems at the system design level, such as pressure variations due either to pressure losses in the pipes and accessory equipment, as well as those resulting from inadequate maintenance of the equipment, for example, poor cleaning of filters and clogging of emitters. In the evaluation of the irrigation system it was found that the laterals are not installed correctly, as well as the drippers are not at a uniform distance from the trunk of the tree, which ultimately influences the distribution uniformity along the laterals.

The system distribution uniformity was 69%, i.e., the irrigation system has a satisfactory uniformity. At the end of this study, in addition to suggestions for improving the irrigation system evaluated, such as the replacement of the laterals and drippers, a set of good practices are also provided in order to achieve proper maintenance and management of irrigation systems that enhance the most efficient use of irrigation water.

Keywords: *Prunus domestica*; Application efficiency and uniformity; Irrigation systems maintenance; Orchard water requirements; Irrigation design.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	ii
Abstract.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de quadros	vii
Lista de símbolos	ix
Lista de abreviaturas	x
1 Introdução	1
2 Revisão bibliográfica	2
2.1 Importância dos pomares de ameixeiras em Portugal	2
2.2 Sistemas de rega localizada	3
2.2.1 Classificação dos sistemas	3
2.2.2 Vantagens e desvantagens dos sistemas de rega localizada.....	4
2.2.3 Componentes do sistema de microrrega	6
2.2.4 Manutenção dos sistemas de rega	7
2.2.5 Dimensionamento de um sistema de rega.....	9
2.2.6 Avaliação de um sistema de rega.....	14
2.3 Gestão da rega de pomares e impactos na produção: o caso da ameixeira	17
2.4 Evapotranspiração (ET_c) de cobertos descontínuos	19
2.5 Balanço Hídrico	21
3 Materiais e métodos	22
3.1 Caracterização do local de ensaio.....	23
3.1.1 Localização do ensaio	23
3.1.2 Clima.....	23
3.2 Caracterização do pomar	24
3.3 Caracterização do solo.....	25

3.3.1	Caracterização pedológica do perfil do solo	27
3.3.2	Determinação da textura do solo.....	28
3.3.3	Determinação da curva de retenção de água no solo	29
3.4	Caracterização do sistema de rega.....	30
3.4.1	Esquema do sistema de rega	30
3.4.2	Casa da rega	31
3.4.3	Condutas	39
3.4.4	Gotejadores	39
3.5	Programa ISAREG para a simulação do balanço hídrico do solo.....	40
3.5.1	Necessidades de rega da cultura e caudal de ponta.....	41
3.5.2	Avaliação do calendário de rega atual	42
3.6	Avaliação do dimensionamento hidráulico	43
3.7	Avaliação do sistema de rega	45
4	Resultados e discussão	49
4.1	Necessidades de rega e caudal de ponta	49
4.2	Simulação hidráulica	51
4.3	Avaliação do sistema de rega: indicadores de desempenho	53
4.4	Avaliação do calendário de rega do ano de 2021	59
5	Sugestão de boas práticas que devem ser aplicadas antes e durante a época de rega	60
6	Conclusões e recomendações.....	61
7	Referências bibliográficas.....	62
	Anexos	75
	Anexo I – Altura média das árvores (em, m).....	77
	Anexo II – Fração de cobertura do solo.....	78
	Anexo III – Características de fabrico dos gotejadores presentes no sistema de rega do pomar das ameixeiras (Irritec, 2019).	79

Anexo IV – Introdução dos dados no programa ISAREG. A primeira imagem corresponde à introdução dos dados relativos ao solo, enquanto a segunda é dos dados da cultura.	80
Anexo V – Quadros utilizados para a avaliação do sistema de rega localizada (Adaptado de Oliveira et al., 2003).	81
Anexo VI – Medição, em metros, da distância entre o último gotejador de uma árvore e o primeiro gotejador da árvore a seguir.	82
Anexo VII – Boletim de análise de 2020 da água da rega.	83

Índice de figuras

Figura 1 - Área de produção e respetiva produção de ameixa entre 2015 e 2020, em Portugal (fonte: INE (2021)).	3
Figura 2 - Configuração do bolbo molhado em função da textura do solo: a) solo argiloso; b) solo franco; c) solo arenoso (Gómez et al., 2010).	10
Figura 3 - Relação entre uniformidade e eficiência – A: rega não-uniforme e que seja “eficiente”; B: rega uniforme e ineficiente e C: rega uniforme e eficiente (Dukes s/d).	16
Figura 4 - Balanço hídrico de um solo cultivado (Fernando, 1998).	22
Figura 5 - Localização do pomar de ameixeiras, cujo sistema de rega será avaliado, delimitado com um contorno de cor vermelha (Google Earth, 2021).	23
Figura 6 – Média mensal da precipitação e da evapotranspiração da cultura de referência (ET ₀) em Lisboa (Instituto Geofísico Infante D. Luiz) durante o período 1959-2008.	24
Figura 7 – Abertura do perfil do solo.	26
Figura 8 – Recolha de amostra não perturbada.	27
Figura 9 - Perfil de solo com a marcação dos horizontes (Foto cedida por N. Cortez, 2021).	27
Figura 10 – Representação esquemática do sistema de rega entre a casa da rega e o pomar (Google Earth, 2021).	30
Figura 11 – Espaçamento entre rampas e entre gotejadores do sistema de rega no pomar das ameixeiras (Google Earth, 2021).	31
Figura 12 - Filtro de malha.	32
Figura 13 – Parte do cabeçal de rega onde se encontra a válvula de segurança (a); a electroválvula (b); o contador de caudal (c) e a válvula redutora de pressão (d).	33

Figura 14 – Sistema de filtragem. Manómetro, antes do filtro de discos (a); filtro de discos (b); válvula antirretorno (c); manómetro, depois do filtro de discos (d).....	34
Figura 15 – Sistema de fertirrega.....	35
Figura 16 - Circuito de injeção de água (a) e circuito de ar (b) com recurso a uma bomba de ar comprimido (c).	35
Figura 17 - Conduitas de rega de cada setor.	36
Figura 18 - Válvula Anti-vácuo ou ventosa.....	37
Figura 19 – Pressostato.	37
Figura 20 – Bomba doseadora de corretores de pH da água.	38
Figura 21 - Programador de rega.	38
Figura 22 - Gotejador autocompensante utilizado no sistema de rega.	39
Figura 23 - Esquema de localização das rampas e gotejadores sujeitos a avaliação (Google Earth, 2021).	46
Figura 24 - Material utilizado na avaliação do sistema de rega.	46
Figura 25 – Exemplo de recolha do volume de água do gotejador.	48
Figura 26 - Medição da pressão no início da rampa.	48
Figura 27 -Furo no tubo de uma das rampas do pomar.	54
Figura 28 - Emissores danificados presentes no pomar avaliado.	55
Figura 29 - Exemplo de uma situação de entupimento do emissor do sistema de rega do pomar (a) e um exemplo de formação de uma poça de água devido ao elevado débito do gotejador (b).	55
Figura 30 - Exemplo da disposição da rampa junto de uma árvore do pomar.	58
Figura 31 - Duas situações onde o gotejador se encontra junto do tronco da árvore. ...	59
Figura 32 - Exemplo de falta de manutenção do pomar.	59
Figura 33 - Balanço hídrico gerado pelo programa ISAREG para o ano de 2021.	60

Índice de quadros

Quadro 2.1 - Fórmulas para o cálculo da perda de carga unitária em tubagens, em função do tipo de material (Adaptado de Raposo, 1994).	13
Quadro 2.2 - Intervalos aconselháveis para a uniformidade de distribuição (CUD) (ASAE, 2004).	15
Quadro 2.3 – Exemplos de métodos usados para determinar a evapotranspiração da cultura (adaptado de Allen et al., 2011 e Rana e Katerji, 2000).	19

Quadro 3.1 – Datas das diferentes fases fenológicas da ameixeira, em 2021, com a respetiva correspondência com as fases da FAO.	25
Quadro 3.2 – Percentagem das componentes das amostras perturbadas de solo.	28
Quadro 3.3 - Análise mecânica das amostras de solo (granulometria <2 mm).	29
Quadro 3.4 - Resultados da análise das características de retenção de água no solo. ...	30
Quadro 3.5 – Caracterização do sistema de rega.	31
Quadro 3.6 - Características das condutas do sistema de rega do pomar das ameixeiras.	39
Quadro 3.7 - Dados da cultura introduzidos no programa ISAREG.	42
Quadro 3.8 - Calendário de rega aplicado no pomar das ameixeiras durante o ano de 2021.	43
Quadro 3.9 - Dados necessários para os cálculos do dimensionamento hidráulico.	45
Quadro 3.10 - Distância (m) entre os dois gotejadores de cada árvore localizada nas rampas avaliadas.	49
Quadro 4.1 - Análise frequencial do caudal de ponta ($l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ e em $mm\ dia^{-1}$) e das necessidades líquidas de rega anuais (mm).	50
Quadro 4.2 - Determinação da dotação de rega que o sistema consegue satisfazer durante o mês de julho de 2021, tendo por base os resultados da avaliação efetuada ao sistema.	51
Quadro 4.3 - Perdas de carga em cada conduta do sistema de rega avaliado.	52
Quadro 4.4 - Pressões presentes à entrada e saída das condutas do pomar das ameixeiras.	52
Quadro 4.5 - Registo dos volumes (ml) debitados pelos gotejadores durante um minuto.	53
Quadro 4.6 - Medição do volume debitado em cada árvore (ml), durante um minuto.	53
Quadro 4.7 - Volume médio aplicado por árvore e a dotação aplicada em cada rega.	54
Quadro 4.8 – Resultados dos indicadores de desempenho da avaliação ao sistema de rega do pomar das ameixeiras, segundo a metodologia de Merriam e Keller (1978).	56
Quadro 4.9 - Resultados dos indicadores de desempenho da avaliação ao sistema de rega do pomar das ameixeiras, segundo a metodologia de Pizarro (1996).	57

Lista de símbolos

Símbolo	Definição	Grandezas
ET_c	Evapotranspiração potencial cultural	(mm d ⁻¹)
ET_o	Evapotranspiração da cultura de referência	(mm d ⁻¹)
$ET_{c \text{ act}}$	Evapotranspiração cultural real	(mm d ⁻¹)
E_s	Evaporação da água do solo	(mm d ⁻¹)
F	Fator de Christiansen	(adimensional)
f_c	Fração de cobertura do solo	(adimensional)
G	Aceleração da gravidade	(m s ⁻²)
H	Altura média da cultura	(m)
H_c	Perdas de carga contínuas	(m)
J	Perdas de carga unitárias	(m m ⁻¹)
K_c	Coefficiente cultural médio	(adimensional)
$K_{c \text{ ini}}$	Coefficiente cultural relativo ao período inicial do desenvolvimento vegetativo da cultura	(adimensional)
$K_{c \text{ mid}}$	Coefficiente cultural relativo ao período intermédio	(adimensional)
$K_{c \text{ end}}$	Coefficiente cultural relativo ao período final	(adimensional)
K_s	Coefficiente de stress	(adimensional)
K_e	Coefficiente de evaporação da água a partir do solo quando cultivado	(adimensional)
K_{cb}	Coefficiente cultural de base	(adimensional)
P	Fração de esgotamento da água do solo em conforto hídrico	(adimensional)
RFU	Reserva facilmente utilizável	(mm)
RH_{min}	Humidade relativa mínima	(%)
RU	Reserva utilizável	(mm)
T_c	Transpiração da cultura	(mm d ⁻¹)
u_2	Velocidade média diária do vento medida a dois m de altura	(m s ⁻¹)
Z_r	Profundidade radicular	(m)
Γ	Constante psicrométrica	(kPa °C ⁻¹)
$\sum h_s$	Somatório das perdas de carga singulares	(m)
ΔH_T	Perdas de carga totais	(m)
θ_{FC}	Teor de água do solo à capacidade de campo	(m ³ m ⁻³)
θ_{WP}	Teor de água do solo ao coeficiente de emurchecimento permanente	(m ³ m ⁻³)

Lista de abreviaturas

ASAE – Sociedade Americana de Engenheiros Rurais

CC – Capacidade de campo

CE – Coeficiente de emurchecimento permanente

COTR – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio

Csa – Clima mediterrânico de verão quente (designação original: *Hot-summer Mediterranean climate*)

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

IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISA – Instituto Superior de Agronomia

LRFU – Limite da reserva facilmente utilizável

M.O. – Matéria orgânica

PE – Polietileno

PVC – Policloreto de vinilo

WRB – *World Reference Base*

1 Introdução

A água é um recurso fundamental para a produção de alimentos. Cada vez mais é um recurso limitado e com tendência a ser mais escasso, principalmente com o aumento da frequência de eventos extremos como secas e cheias decorrentes das alterações climáticas (Falloon e Betts, 2009; Pereira, 2017; Teixeira e Rolim, 2014; UN Water, 2010). Por outro lado, com o aumento da população, verifica-se um incremento na procura de alimentos, o que, por sua vez, conduz à necessidade de expandir as áreas de produção e assim a agricultura de regadio (Pereira, 2017).

A, cada vez maior, escassez de água tem vindo a gerar contínuas adaptações da agricultura à variação deste fator de produção, com um cada vez maior recurso às tecnologias de informação e de comunicação, visando otimizar o uso deste bem, conduzindo, assim, a uma cada vez maior modernização da agricultura (Feres et al., 2006; Jovanovic et al., 2020; Lecina et al., 2010; Pereira, 2017; Pereira et al., 2020).

Em Portugal, devido à distribuição irregular da precipitação, que maioritariamente ocorre entre setembro e janeiro (Carvalho, 2016), e ao decréscimo da sua quantidade tem levado ao aumento da necessidade de rega das culturas, incluindo a necessidade de recorrer a rega de complemento no caso das culturas de outono-inverno, com o objetivo de minorar as perdas de produção (Carvalho, 2016; Paredes et al., 2017; Pereira, 2017).

Assim, a otimização da aplicação de água de rega adquire uma importância crescente em Portugal. De uma forma sintética, no setor agrícola o aumento ou a manutenção do nível de produção, pode ser conseguido através do aumento da eficiência do sistema de rega, incluindo a precisão da programação da rega, e maximizando a otimização do uso da água de rega (Paço e Ferreira, 2004; Pereira, 2004).

Deste modo, torna-se necessário caracterizar os sistemas de rega e avaliar o seu desempenho de modo a otimizar a sua eficiência na aplicação de água e de fertilizantes (Nunes e Mendes, 2015; Pereira, 2002). Para que o sistema de rega localizada tenha um bom desempenho, é fundamental a sua adequada manutenção, nomeadamente ao nível do sistema de filtragem da água, uma vez que este, quando bem dimensionado, permite minimizar a ocorrência de entupimentos, fator que afeta diretamente, e de forma significativa, o desempenho dos sistemas de rega gota-a-gota (Keller e Bliesner, 1990; Lavanholi et al., 2018; Meriam e Keller, 1978). A par com as operações de manutenção, deve-se realizar periodicamente uma avaliação do sistema de rega com o objetivo de identificar possíveis problemas, como é o caso de entupimentos dos emissores e danos nas condutas que originem fugas de água os quais

acabam por levar a que ocorra a falta de uniformidade de distribuição e de eficiência do sistema de rega (Merriam e Keller, 1998; Oliveira, 2011; Oliveira et al., 2003).

Com este trabalho, pretende-se realizar a caracterização e a avaliação do desempenho de um sistema de rega instalado no pomar de ameixeiras, localizado no Instituto Superior de Agronomia, e propor medidas corretivas se necessário. Este objetivo geral é concretizado através dos seguintes objetivos específicos:

- i) Verificar se os volumes de água que estão a ser fornecidos às árvores, aquando da avaliação, correspondem ao que foi projetado;
- ii) Determinar as necessidades de rega do pomar das ameixeiras;
- iii) Cálculo de indicadores de desempenho para verificar se existe uniformidade na distribuição da água no pomar;
- iv) Simulação do funcionamento hidráulico do sistema de rega para a caracterização das suas condições de funcionamento;
- v) Caracterização do estado de manutenção do sistema e a identificação de problemas ao longo do sistema (desde o hidrante e sistema de filtragem até aos emissores);
- vi) Avaliação da adequação do sistema de rega instalado às necessidades de rega do pomar;
- vii) Por fim, disponibilização de um conjunto de boas práticas e de medidas corretivas a realizar, que permitam aumentar a eficiência do sistema e do uso da água de rega.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Importância dos pomares de ameixeiras em Portugal

Segundo dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), em Portugal, a superfície de solo ocupada por pomares de ameixeiras tem registado uma tendência de crescimento com 1782 hectares (ha) em 2017 e 1834 ha em 2020 (**Figura 1**) (INE, 2021). Os pomares são maioritariamente encontrados em Portugal continental, representando em 2020 aproximadamente 97% do total de área ocupada por esta cultura. Geograficamente, a maior área de produção de ameixa, concentra-se no Alentejo com aproximadamente 82% e a menor no algarve, com 82 ha, o que corresponde a cerca de 4% do total, em Portugal continental (INE, 2021).

Quanto à produção de ameixa, nos últimos cinco anos, o ano em que se registou uma maior produção foi no ano de 2017 (29 784 toneladas), coincidindo com o ano em que se registou a menor área de superfície de solo cultivada com esta cultura (INE, 2021).

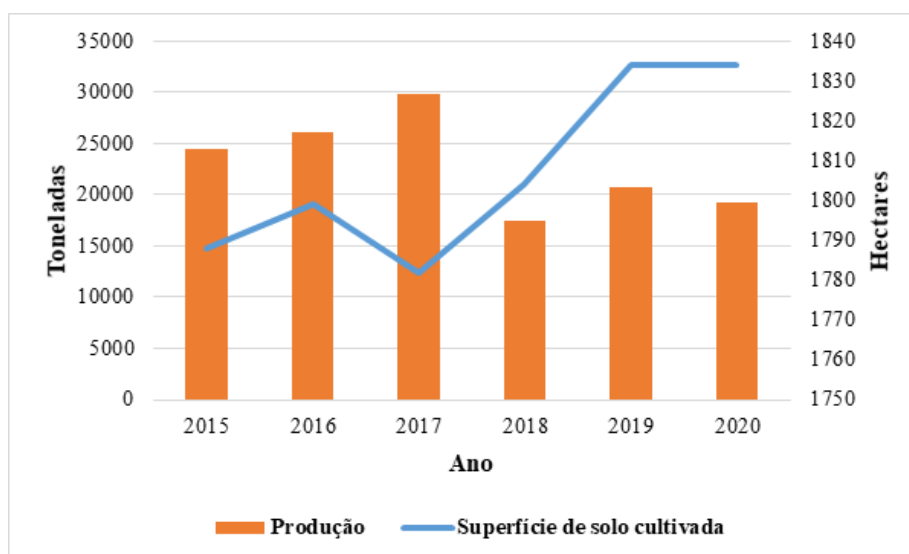


Figura 1 - Área de produção e respetiva produção de ameixa entre 2015 e 2020, em Portugal (fonte: INE (2021)).

2.2 Sistemas de rega localizada

2.2.1 Classificação dos sistemas

Entende-se por rega localizada ou microrrega a rega sob pressão, onde a água é fornecida às plantas por emissores, mais especificamente, às partes do solo cultivado onde se verifica o desenvolvimento das raízes das mesmas (Keller e Bliesner, 1990; Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

Pereira (2004), refere que os sistemas de rega localizada podem ser organizados em quatro categorias, sendo estes constituídos por processos hidráulicos distintos – rega gota - a - gota, rega por micro-aspersão, rega por jorros e rega subsuperficial.

Quando a água é aplicada à superfície de uma forma lenta através de pequenos orifícios emissores, os gotejadores, designamos por rega gota-a-gota. Os gotejadores operam debitando pequenos caudais de água que, sobre a superfície do solo, se vai infiltrar e distribuir-se verticalmente e transversalmente originando assim um volume molhado em forma de bolbo rodeando a raiz da planta, sendo que, a proporção e a forma deste vai depender do caudal do gotejador, da duração da aplicação e do tipo do solo (Oliveira, 2011). A rega gota-a-gota, usualmente, fornece caudais de apenas 2 a 12 l h⁻¹ (Oliveira, 2011; Pereira 2004).

No caso da rega por micro-aspersão a água é pulverizada sobre o solo produzindo assim pequenas áreas de 1 a 5 m de diâmetro de solo humedecido. É um sistema de rega que permite

debitar entre 50 a 150 l h⁻¹ através dos emissores que se designam por micro-aspersores (Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

A rega por jorros consiste em pequenos jatos de água que são aplicados a pequenas caldeiras construídas à superfície do solo, nas zonas contíguas a cada árvore de um pomar. Para tal recorre-se a emissores designados por jorradores ou golfadores que debitam caudais de 100 a 150 l h⁻¹ através de impulsos (Pereira, 2004).

Por último, a rega subsuperficial, onde a água é aplicada através de emissores integrados em rampas colocadas enterradas geralmente a pouca distância da superfície do solo, sendo que, geralmente, toda a rede de rega é enterrada (Pereira, 2004; Waller e Yitayew 2016). Em alternativa, pode-se fornecer água através de tubos porosos, mas tem sido uma solução que tem vindo a ser substituída pela aplicação dos tubos com orifícios (Pereira, 2004). Este tipo de sistema de rega, quando bem gerido, tem a vantagem de minimizar as perdas de água por evaporação (Fandiño et al., 2012).

2.2.2 Vantagens e desvantagens dos sistemas de rega localizada

O grande interesse da rega localizada, nomeadamente da rega gota-a-gota, prende-se com o seu potencial para, quando bem gerida, diminuir tanto o consumo de água, assim como os custos que estão associados à rega, nomeadamente os de mão-de-obra e os custos energéticos (Pereira, 2004; Raposo, 1994; Rolim e Pedras, 2014; Solomon et al., 2013; Waller e Yitayew 2016). Comparando com os outros sistemas de rega, como os sistemas de rega por aspersão, este opera a pressões mais baixas o que faz com que a exigência ao nível do sistema de bombagem e conseqüentemente ao nível energético seja menor, adicionalmente potencia a poupança de água uma vez que a água é aplicada a uma taxa lenta junto à zona radical (Keller e Bliessner, 1990; Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

Uma das vantagens destes sistemas de rega é ser, particularmente, apropriado ao fornecimento de pequenas dotações com elevada frequência, o que permite preservar a maior parte do solo em condições favoráveis de arejamento e de humidade, evitando assim condições de stress hídrico. A microrrega também minimiza o desenvolvimento de infestantes na parcela cultivada uma vez que apenas uma pequena fração da superfície do solo é humedecida pela água de rega (Evans et al., 2013; Pereira, 2004).

Através dos sistemas de rega localizada podemos realizar a aplicação de fertilizantes na água da rega (fertirrega), uma vez que possibilita um maior controlo sobre a aplicação e o período de atuação do fertilizante, o que pode melhorar a sua eficiência e ajudar a minimizar os riscos de poluição relacionados com a lixiviação dos fertilizantes (Burt et al., 1997; Evans et

al., 2013; Pereira, 1999; Pereira, 2004). Nagy et al. (2010) refere que, para pomares de alta densidade, o sistema gota-a-gota é muito adequado, uma vez que permite a realização com sucesso de distintas operações culturais e possibilita uma adequada fertilização das árvores através da rega.

É comumente aceite que algumas das vantagens dos sistemas de rega localizada incluem a boa adaptação a qualquer gradiente de declive do solo, mas também por permitir minimizar as perdas por percolação quando aplicado um calendário de rega adequado, assim como minimizar a evaporação quer da superfície do solo quer da água de rega em dias de vento como ocorre na rega por aspersão (Evans et al., 2013; Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

A rega gota-a-gota também apresenta desvantagens onde se incluem a necessidade de uma manutenção adequada do sistema de filtragem da água, uma vez que este tipo de sistemas é muito sensível à ocorrência de entupimento dos emissores que é um fator que afeta diretamente e de forma significativa o desempenho destes sistemas (Keller e Bliesner, 1990; Meriam e Keller, 1978).

Vários fatores contribuem para que ocorra o entupimento dos emissores, como o uso na rega de água de baixa qualidade, a presença de sólidos suspensos na água, como partículas orgânicas ou partículas minerais, mas também podem ser causados por precipitados químicos (Oliveira 2011; Pereira, 2004). Segundo Merriam e Keller (1998), no caso da rega localizada a ocorrência de entupimentos dos gotejadores é o problema mais grave que pode ocorrer nestes sistemas de rega; este problema é reconhecido por vários autores associando-o à precipitação de carbonatos assim como à ocorrência de contaminantes físicos, biológicos e químicos (Evans et al., 2013; Gómez et al., 2010; Pereira, 2004; Zhou et al., 2019). Pereira et al. (2014) salienta que a presença de matéria orgânica (M.O.) nas águas residuais tratadas fomenta o desenvolvimento de filmes biológicos nos equipamentos de rega, em particular nos emissores, contribuindo para o entupimento dos mesmos. Mendes e Nunes (2005) referem que os entupimentos dos emissores se devem, principalmente, aos sólidos em suspensão, sais dissolvidos e ao pH da água de rega. Na Secção 2.2.4, são aprofundadas as recomendações de manutenção que permitem evitar os entupimentos dos emissores.

Por fim, Raposo (1994) defende que os riscos de entupimento estão maioritariamente associados ao diâmetro do respetivo orifício de saída de água, isto é, quanto menor for o diâmetro do orifício do gotejador mais elevada é a probabilidade de entupimento.

Como consequência do entupimento dos emissores a uniformidade de distribuição da água é menor, e assim vai afetar a produção devido a uma rega inadequada (Salcedo et al., 2010).

De acordo com Pereira (2004) outra das desvantagens deste tipo de sistemas é o elevado custo de investimento inicial que, regra geral, é sempre superiores ao investimento com outros tipos de sistemas como por exemplo os de rega por aspersão com rampa pivotante.

2.2.3 Componentes do sistema de microrrega

Um sistema de microrrega tem como componentes básicos um sistema de bombagem, um sistema de filtragem, um sistema de fertirrega, rede de distribuição (conduta principal, condutas secundárias ou porta rampas, condutas terciárias ou rampas), os dispositivos de controlo (válvulas, manómetros e dispositivos de automatização), e os emissores (Evans et al., 2013; Pereira, 2004; Pereira et al., 2010; Raposo, 1994; Waller e Yitayew 2016).

Para que se tenha um adequado funcionamento das instalações de rega localizada é necessário ter um bom dimensionamento e funcionamento do sistema de filtragem, uma vez que é nos filtros que são retidas as partículas sólidas presentes na água de rega e em caso de inadequado dimensionamento e/ou funcionamento pode levar ao entupimento dos emissores e de outros equipamentos do sistema (Santos, 2017). Assim, os sistemas de filtragem podem ser compostos por diferentes tipos de filtros como os separadores de partículas (hidrociclones), filtros de areia, filtros de disco e filtros de malha e lamelas (Gómez et al., 2010; Pereira, 2004; Santos, 2017). Os filtros hidrociclones ou também denominados de filtros separadores de partículas têm como função separar da água de rega as partículas mais grosseiras, como areias, provenientes de lagos, rios e poços. Estes filtros são instalados a jusante dos sistemas de bombagem de forma a proteger o sistema de rega. Tanto Gómez et al. (2010) como Santos (2017) mencionam que os filtros de areia são usados com o objetivo de remover partículas orgânicas suspensas na água. Os filtros de malha ou de discos são usados em todo o tipo de sistemas de rega agrícola e têm como função reter as substâncias orgânicas e inorgânicas (Santos, 2017). Santos (2017), defende que nos filtros de malha existem vários modelos e a escolha do modelo do filtro tem como base a finalidade que se quer do mesmo, isto é, a escolha do filtro varia com o tamanho das partículas que se pretenda filtrar. Assim, é de suma importância, que no momento em que se projeta o sistema, ter uma caracterização da fonte de água de rega e da sua qualidade de modo a permitir a escolha adequada do sistema de filtragem.

Na instalação de um sistema de rega é necessário garantir que a água é fornecida às culturas de uma forma controlada de forma a garantir a quantidade e qualidade apropriada de água a cada cultura e, para que isso aconteça recorre-se a equipamentos de controlo de caudal como válvulas e/ou electroválvulas, de controlo de pressão, através de válvulas reductoras e de alívio de pressão, ou então ventosas para retirar o ar das condutas (Pereira, 2004; Santos, 2017).

Para além disso, Fleming (2012), refere que se devem adotar sensores como por exemplo de humidade do solo, temperatura, pluviometria e caudal, com o objetivo de melhorar a gestão do calendário de rega e reduzir a quantidade de água a ser aplicada; como também um sistema de controlo automático porque, possibilita regar de forma automática, minimizando deste modo os custos de mão-de-obra. Para além disto, o sistema de controlo também permite uma gestão automática do sistema de fertilização e da autolimpeza dos sistemas de filtragem.

Em relação aos emissores estes são escolhidos de acordo com o tipo de cultura que se pretende regar. Assim sendo, temos os seguintes tipos de emissores possíveis de usar no sistema de rega localizada (Oliveira, 2011; Pereira, 2004): gotejadores de percurso longo; de orifício; de labirinto; de vortex e gotejadores autorreguladores/autocompensante. Depois ainda existem os tubos perfurados, tubos de dupla parede e tubos porosos que não têm gotejadores, mas sim orifícios. Atualmente, os gotejadores autocompensantes em linha são os mais comumente utilizados em pomares.

2.2.4 Manutenção dos sistemas de rega

Numa exploração agrícola, todos os equipamentos estão sujeitos a processos de desgaste e de deterioração, modificando assim as suas condições normais de funcionamento. Para que as funções para as quais estes equipamentos foram concebidos sejam mantidas, é essencial que todos estes sejam preservados nas melhores condições de operacionalidade. Dispõe-se de várias ações técnicas de manutenção dos equipamentos entre as quais se podem destacar a prevenção da entrada ou formação de contaminantes no sistema para prevenir entupimentos, contudo, também se deve destacar as inspeções programadas (incluindo avaliações de desempenho dos sistemas), reparações, substituições de peças, calibrações e limpezas, incluindo a injeção de ácido na água de rega para a desobstrução dos emissores, ou então, o tratamento químico ao nível do abastecimento de água de forma a evitar possíveis entupimentos (Barrera et al., 2018; Evans et al., 2013; Gómez et al., 2010; Merriam e Keller, 1998; Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

Pode-se dizer que o entupimento dos emissores é considerado como sendo o maior dos problemas com que se tem de lidar na manutenção dos sistemas de microrrega (Arshad, 2020). O entupimento dos emissores provoca a ocorrência de decréscimos relevantes de caudal, originando deformações nos padrões de humedecimento (Boman, 1995) e, conseqüentemente, ocorre uma diminuição da uniformidade da rega (Capra e Scicolone, 1998; Shaw et al., 2018; Solomon, 1985). Bralts et al. (1981) e Nakayama e Bucks (1981) concluíram que mesmo uma reduzida percentagem de emissores entupidos pode reduzir a uniformidade de aplicação da água dos sistemas de rega. No caso da utilização de emissores não autocompensantes, Bralts et al.

(1982) e Talozzi e Hills (2001) mostraram que o entupimento de alguns emissores diminui não só o caudal total na rampa, mas também a perda de carga na rampa. A redução da perda de carga vai provocar um aumento da pressão, o que provoca um aumento do caudal nos emissores não entupidos.

Como exemplo, em relação à necessidade de manutenção dos emissores devem ter-se em consideração vários fatores, desde a qualidade de água como o emissor escolhido, já que, segundo Pereira (2004), temos emissores, como é o caso dos emissores de vórtice que, em comparação com qualquer outro tipo de emissor com percurso longo ou de labirinto do mesmo diâmetro, vão ser menos propensos quer ao entupimento quer às consequentes perdas de carga, necessitando deste modo um menor número de operações de manutenção. Ao nível dos entupimentos, os emissores menos suscetíveis e que requerem menos manutenção são os de limpeza automática ou autolimpantes, mas também se pode optar por emissores que possuam orifícios de dimensões relativamente maiores.

No estudo realizado por Pérágon et al. (2017) foram desenvolvidas ferramentas, e aplicadas a nível regional, em Espanha, que permitem a identificação de zonas de risco de entupimento, e consequentemente de necessidade de manutenção, assim como da quantidade de ácido a ser aplicado à água de rega. Por outro lado, a utilização de imagens térmicas podem ser utilizadas para identificar locais com necessidade de manutenção uma vez que permitem identificar ao nível da parcela locais em que existam estrangulamentos de débito dos emissores (Kalo et al., 2021).

Vários autores referem que para prevenir a ocorrência de entupimentos é fundamental a verificação e limpeza periódica dos filtros de modo a manter a água de rega livre de impurezas, sendo que a periodicidade desta manutenção depende de vários fatores como, por exemplo, a fonte de água e a qualidade da mesma (Gómez et al., 2010; Oliveira, 2011; Pereira 2004). Por fim, aconselha-se a realização de vistorias periódicas, semanais ou quinzenais, aos sistemas de rega, em particular a verificação das rampas, com o intuito de verificar a existência de possíveis fugas, ou de emissores entupidos (Oliveira, 2011).

Assim, um dos aspetos básicos que devem ser tomados em consideração em termos de manutenção dos sistemas de rega localizada é a verificação do normal funcionamento dos diferentes equipamentos, componentes, peças, etc. que constituem o sistema de rega (Gómez et al., 2010). Este tipo de verificação deve ser associado a avaliações periódicas através da determinação da uniformidade de distribuição ou do cálculo das perdas de carga e das pressões das várias componentes do sistema de rega, por exemplo, e compará-las com os dados do

projeto de dimensionamento do sistema de modo a averiguar se os valores obtidos se encontram dentro dos valores pretendidos.

2.2.5 Dimensionamento de um sistema de rega

O processo de dimensionamento de um sistema de rega é constituído por duas etapas importantes (Evans et al., 2007; Martin et al., 2007; Oliveira, 2011; Wu e Barragan, 2000): 1) dimensionamento agronómico; 2) dimensionamento hidráulico.

Numa primeira fase é preciso recolher dados que são fundamentais para o dimensionamento, sendo eles: i) a cultura a ser regada e as suas características; ii) a topografia do terreno assim como o tipo de solo; iii) a localização da fonte da água para a rega, entre outras informações. Estas informações, por sua vez, servem para a seleção do tipo de emissor a usar; dotação útil de rega e intervalo entre regas; determinação do número de setores; caudal mínimo necessário para o bom funcionamento dos emissores; cálculo das pressões máximas e mínimas de funcionamento do sistema, assim como, o cálculo da variação de pressão e comparação com o máximo admissível pelo sistema. Com base nesta informação calcula-se o caudal de projeto ou de dimensionamento do sistema de rega, isto é, a necessidade máxima de água de rega, para o período de ponta para uma dada probabilidade não excedência de forma a satisfazer as necessidades da cultura ao longo de todo o ciclo vegetativo (Oliveira, 2011; Pereira 2004) que, posteriormente, permite fazer o dimensionamento das condutas terciárias, secundárias e principais.

2.2.5.1 Dimensionamento agronómico

Este tipo de dimensionamento diz respeito ao cálculo da quantidade de água que é necessária que o sistema de rega tenha capacidade para transportar durante o período de ponta da rega, ou seja, pode-se considerar que é a parte crucial de um projeto de rega, uma vez que os erros de cálculo cometidos no dimensionamento agronómico irão repercutir-se no dimensionamento hidráulico. Assim sendo, os pontos essenciais para um correto dimensionamento agronómico são (Oliveira, 2011; Pereira 2004):

- i) Determinação das necessidades de rega para o período de ponta, baseando-se na evapotranspiração cultural e numa série longa de dados climáticos (>30 anos);
- ii) Volume de solo molhado, uma vez que o volume de área humedecida deve assegurar que a planta recebe a quantidade de água necessária para garantir o seu correto desenvolvimento;
- iii) Cálculo do número de emissores a colocar por árvore;
- iv) Cálculo da frequência e do tempo de rega.

Para além desses requisitos também se deve ter em conta a adaptação dos emissores às características do pomar, nomeadamente, à textura do solo. Segundo Li et al. (2004) e Pizarro (1996), nos solos de textura argilosa, o bolbo molhado ocorre a uma menor profundidade, ou seja, junto à superfície, enquanto em solos de textura arenosa, o diâmetro molhado ocorre a uma maior profundidade (**Figura 2**). O bolbo húmido corresponde à parte do solo que é umedecida pela rega realizada pelo emissor/gotejador (Gómez et al., 2010). Autores como Gómez et al. (2010) e Vanella et al. (2021) defendem que a componente de fluxo vertical que resulta da água da rega é dependente principalmente da textura do solo, isto é, quanto mais arenoso o solo for maior a profundidade a que a água chega, logo mais estreito e longo é o bolbo molhado. Em contrapartida, os mesmos autores defendem que se aumentarmos o fluxo de água que o gotejador debita vai influenciar mais a componente horizontal, ou seja, vai aumentar o raio horizontal dos bolbos molhados.

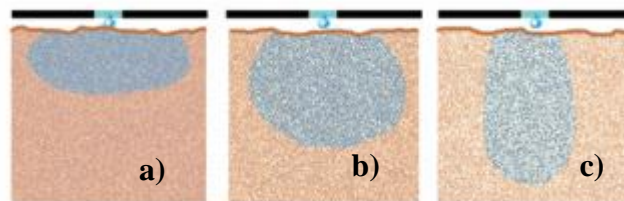


Figura 2 - Configuração do bolbo molhado em função da textura do solo: a) solo argiloso; b) solo franco; c) solo arenoso (Gómez et al., 2010).

Deste modo, quando se estiver a determinar o número de gotejadores por árvore/planta, Merriam e Keller (1978) sugerem que a percentagem de solo humedecido seja acima dos 20% em áreas onde se regista uma elevada pluviosidade e solos de textura média ou argilosa, onde a rega é aplicada durante períodos de seca, e entre 33 e 50% em áreas de reduzida pluviosidade. Já Pereira (2004) e Raposo (1994) são apologistas que a fração de superfície do solo humedecida (P_s) não deve tomar valores inferiores a $1/3$ (33,3%). Contudo, Pereira (2004) refere que quando a rega é a fonte principal de água, ou mesmo a única fonte durante longos períodos de tempo, aí a área humedecida deve corresponder a no mínimo $2/3$ da área radical da planta.

Assim sendo, o dimensionamento do sistema de rega deve garantir que a instalação seja capaz de suprimir, com ótima eficiência de aplicação, as necessidades hídricas da cultura durante o mês de ponta, assim como, umedecer o volume de solo necessário para o desenvolvimento adequado da cultura (López et al., 1997; Raposo, 1994).

2.2.5.2 Dimensionamento hidráulico

Refere-se à determinação e verificação dos diâmetros, pressões e caudais para que todo o volume de água que seja preciso fornecer, através do sistema de rega, seja conduzido de forma adequada aos emissores/gotejadores. Assim, como no caso do dimensionamento agronómico, o hidráulico é executado para o período de ponta da cultura, uma vez que é durante o qual as necessidades hídricas são máximas (Gómez et al., 2010). Raposo (1994) ainda salienta que o conhecimento tanto das necessidades hídricas de ponta como anuais é fundamental, especialmente, porque sem elas não é possível definir o respetivo caudal de projeto, do qual depende o dimensionamento de todas as componentes da instalação, sobretudo a potência da respetiva estação de bombagem e o caudal a fornecer às plantas. Para além disso, Solomon et al. (2007) refere que uma parte importante do processo de planificação e seleção do sistema de rega envolve uma avaliação económica, nomeadamente ao nível dos gastos de energia e manutenção do equipamento que dependem de um correto dimensionamento.

Os princípios e metodologias de cálculo para o dimensionamento hidráulico estão bem descritos na bibliografia, como por exemplo, em Keller e Bliesner (1990). Quinas (2017), aplica esses princípios e metodologias de cálculo ao realizar um projeto de dimensionamento de um sistema de rega localizada por gota-a-gota para um pomar de amendoeiras e de romãzeiras. Existem ferramentas de apoio à decisão que permitem fazer o projeto de sistemas de microrrega e a avaliação dos sistemas já em operação como são o MIRRIG (Pedras et al., 2009), o DOMIS (Patel et al., 2018) e o DIMSUB (Palau et al., 2019).

É de salientar que, depois de conhecidas as necessidades de rega da cultura, o primeiro passo deve ser a escolha do gotejador que se pretenda usar, isto porque varia com a cultura escolhida e as suas necessidades hídricas, com as características do solo da parcela a regar, assim como com o tipo de rega localizada que se pretenda aplicar (Pereira, 2004; Pereira et al., 2010). Assim sendo, no momento em que se efetua a escolha do gotejador a usar no sistema, e, segundo Raposo (1994), existem três requisitos fundamentais que se devem ter em conta na sua seleção, sendo eles: i) distribuição de um caudal reduzido, regra geral constante e sendo pouco afetado pelas variações de pressão; ii) pouco atreito a entupimentos e iii) possuir uma uniformidade de fabrico elevada.

Um projeto de rega deve garantir que o sistema possua uma elevada uniformidade de distribuição de forma a garantir uma diminuição do consumo de água, do consumo energético e do recurso a mão-de-obra para que o sistema funcione de uma forma eficiente, com um baixo custo de manutenção, constituindo assim numa solução fiável e duradoura (Fleming, 2012).

Sendo que, segundo Pereira (2004), a primeira decisão em projeto consiste na escolha do tipo de emissores a usar, sendo o mais normal o uso de gotejadores em culturas em linha e micro-aspersores em pomares, mas caso a rega seja frequente nos pomares pode-se optar por gotejadores.

No dimensionamento dos porta-ramais existem várias regras que devem ser respeitadas, em particular a velocidade de escoamento que não deverá exceder os 2 m s^{-1} ou, caso isso suceda, seja somente no troço inicial (Oliveira, 2011). Por fim, ainda se tem que ter em consideração que a variação na pressão à entrada da conduta terciária, ou lateral, mais favorável e mais desfavorável não pode exceder os 20% para que a variação de caudal não ultrapasse os 10%. Esta variação acontece devido ao efeito do declive e das perdas de carga ao longo do porta-rampas (Christiansen, 1942). Segundo Oliveira (2011), para o dimensionamento das condutas do sistema de rega (primárias, secundárias e terciárias) recomenda-se que a velocidade de escoamento não seja inferior a $0,5 \text{ m s}^{-1}$ porque é a velocidade mínima para a qual se admite que não há sedimentação das partículas em suspensão (ao garantir-se esta velocidade pode-se minimizar as intervenções de manutenção) e não deve ser superior a $1,5 \text{ m s}^{-1}$ porque leva a um aumento das perdas de carga.

Quando se faz o projeto/dimensionamento de um sistema de rega é preciso ter em conta que ao longo do sistema de rega existem perdas de carga que vão ocorrendo durante o escoamento numa tubagem de rega, seja ela de policloreto de vinilo (PVC) ou polietileno (PE), por exemplo. Designa-se por perda de carga a dissipação de energia, sob a forma de calor, provocada, entre outros fatores, pelo atrito da água com as paredes das tubagens (Oliveira, 2011).

Segundo Oliveira (2011) e Raposo (1996), as perdas de carga que podem ocorrer durante o escoamento do fluido numa tubagem podem ser: perdas de carga contínuas (provocadas pela resistência ao escoamento ao longo das paredes da tubagem); perdas de carga localizadas (resultantes de mudanças de secção e/ou à presença de acessórios tais como curvas e válvulas).

Segundo Raposo (1996), começa-se por calcular as perdas de carga unitárias, as quais consistem na perda de carga por unidade de comprimento de tubagem, podendo ser determinadas com recurso às fórmulas presentes no **Quadro 2.1**. Proceder-se, de seguida, ao cálculo das perdas de carga contínuas (equação [1]) e das perdas de carga localizadas, considerando-se, geralmente, que o somatório destas últimas corresponde entre 10 a 15% das perdas de carga contínuas (Oliveira, 2011; Raposo, 1996).

Quadro 2.1 - Fórmulas para o cálculo da perda de carga unitária em tubagens, em função do tipo de material (Adaptado de Raposo, 1994).

	PE	PVC	Fibrocimento	
		Scobbey	Scimeni	Hazen-Williams
	$j = K \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}}$	$j = K \frac{Q^{1,76}}{D^{4,76}}$	$j = K \frac{Q^{1,79}}{D^{4,79}}$	$j = K \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}}$
Q (l h⁻¹)	K = 0,478	K = 0,452	K = 0,438	K = 0,334
Q (m³ h⁻³)	K = 85002	K = 86127	K = 99750	K = 119993
Q (l s⁻¹)	K = 799756	K = 820788	K = 982447	K = 1286311
Q (m³ s⁻¹)	K = 142219x10 ⁶	K = 156398x10 ⁶	K = 223590x10 ⁶	K = 462276x10 ⁶

Q – caudal; D – diâmetro interno da tubagem (mm); j – perda de carga unitária (m m⁻¹).

As perdas de carga contínuas (H_c , m) são calculadas como:

$$H_c = j \times L \quad [1]$$

onde:

j – Perda de carga unitária (m m⁻¹);

L – comprimento da conduta, onde se pretende calcular as perdas de carga contínuas (m).

Deste modo, as perdas de carga totais (ΔH_T , m) resultam da soma das perdas de carga contínuas e das localizadas, sendo dadas pela seguinte expressão:

$$\Delta H_T = H_c + \sum h_s \quad [2]$$

onde:

H_c – Perdas de carga contínuas (m);

h_s – Perdas de carga localizadas/singulares (m).

No caso das rampas isodiamétricas, como o caudal se vai reduzindo para jusante, à medida que a água sai pelos gotejadores, verifica-se, paralelamente, uma redução gradual da correspondente perda de carga unitária. Em regra, existe um elevado número de gotejadores em cada rampa e, conseqüentemente, a determinação do total das perdas de carga contínuas torna-se, geralmente, muito trabalhosa. Contudo, este problema pode ser resolvido de uma forma mais simples mediante o cálculo das perdas de carga contínuas (H_c , m) como (Karneli e Keller, 1975):

$$H_c = j \times L \times F \quad [3]$$

sendo:

j – Perdas de carga unitárias (m m⁻¹);

L – comprimento da conduta onde se pretende calcular as perdas de carga contínuas (m);

F – Fator de Christiansen (adimensional), que compensa a redução do caudal ao longo da rampa. O valor de F é em função do número de gotejadores de cada rampa.

O coeficiente F (fator de Christiansen) encontra-se tabelado (ver, por exemplo, Raposo, 1996), mas também pode ser determinado como:

$$F = \frac{1}{m + 1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m - 1}}{6N^2} \quad [4]$$

sendo:

m , o valor do expoente da velocidade;

N (adimensional), o número de saídas/gotejadores na rampa.

Para além das perdas de carga, a pressão da água ao longo do percurso realizado pode variar devido ao desnível, que, nas situações em que é negativo, leva a que ocorra um aumento da pressão e à sua diminuição quando estamos perante um desnível positivo.

2.2.6 Avaliação de um sistema de rega

Como referido por vários autores (Merriam e Keller 1978; Oliveira 2011; Pereira, 2004; Pizarro, 1996) a avaliação do sistema de rega é efetuado usando um conjunto de indicadores tais como:

1. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (Christiansen, 1942) o qual é calculado como:

$$CUC = 1 - \frac{1}{Nq_a} \sum_{i=1}^N |q_i - q_a| \quad [5]$$

sendo N o número de emissores considerados, q_i os respetivos caudais ($l\ h^{-1}$) e q_a ($l\ h^{-1}$) a sua média.

2. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD, %) obtido como:

$$CUD = 100 \times \frac{q_{min}}{q_{med}} \quad [6]$$

onde:

q_{min} ($l\ h^{-1}$) – Caudal médio recolhido no quartil mínimo;

q_{med} ($l\ h^{-1}$) – Caudal médio.

Pereira (2004) também refere a existência de uma relação entre coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) como:

$$CUC = \left[1 - 0,63 \times \left(1 - \frac{CUD}{100} \right) \right] \times 100 \quad [7]$$

Também se pode calcular a eficiência potencial do quartil mínimo, PELQ (%) e que corresponde ao desempenho que o sistema pode atingir quando a dotação requerida é aplicada na ocasião adequada (Merriam e Keller, 1978).

$$PELQ = 100 \times \frac{Z_{lq,MAD}}{D_{MAD}} \quad [8]$$

onde:

$Z_{lq,MAD}$ (mm) – Quantidade média infiltrada no quartil mínimo da parcela quando iguala MAD;

D_{MAD} (mm) – Dotação bruta aplicada quando o déficit de água no solo iguala MAD;

MAD (mm) – Déficit de água no solo consentido (em inglês – “Management Allowed Depletion”).

Para se verificar se o sistema de rega está a funcionar de forma correta faz-se a sua avaliação e comparam-se os resultados obtidos com valores presentes na literatura. No **Quadro 2.2** é apresentada a classificação do CUD dos sistemas de rega localizada, de acordo com os padrões elaborados pela Sociedade Americana de Engenheiros Rurais (ASAE, 2004).

Quadro 2.2 - Intervalos aconselháveis para a uniformidade de distribuição (CUD) (ASAE, 2004).

Classificação	CUD (%)
Excelente	>90
Bom	75-90
Satisfatório	62-75
Mau	50-62
Inaceitável	<50

Como anteriormente referido, baixas uniformidades indicam situações de excesso e/ou de déficit de água em partes da parcela (Burt et al., 1997), ou seja, isto levará a que ocorram perdas de produção devidas ao déficit/excesso de água no solo, mas também a perdas de água e de fertilizantes uma vez que a água infiltrada percola para além da zona radicular (Pereira, 2004).

Na **Figura 3** é possível observar a relação que existe entre a uniformidade e a eficiência de rega. Um sistema de rega deverá ser uniforme e eficiente, isto é, todas as plantas devem receber, na zona radical, a quantidade de água que necessitam sem que ocorram perdas de água. No caso de uma rega não-uniforme e que seja “eficiente” (**Figura 3A**) o sistema sendo pouco uniforme levará a que a distribuição da água pelas plantas não seja a melhor levando, por exemplo, a que, nos locais com menor dotação, i.e., a situação mais desfavorável, as plantas

acabem por sofrer uma acentuada quebra de produção devido à falta de água. Numa rega não-uniforme e ineficiente o que acaba por acontecer é que se tenta regar bem os locais mais desfavoráveis, mas em contrapartida iremos acabar por fornecer água em excesso à maioria dos locais. A rega uniforme e ineficiente (**Figura 3B**) é uma rega feita com dotações excessivas, ou seja, as árvores vão receber a mesma quantidade de água, mas sem ter a preocupação de fornecer a quantidade necessária para suprir as necessidades das plantas o que leva a que ocorram elevados desperdícios de água por percolação profunda (Oliveira, 2011). Em suma, se não se tiver um sistema uniforme este nunca será eficiente.

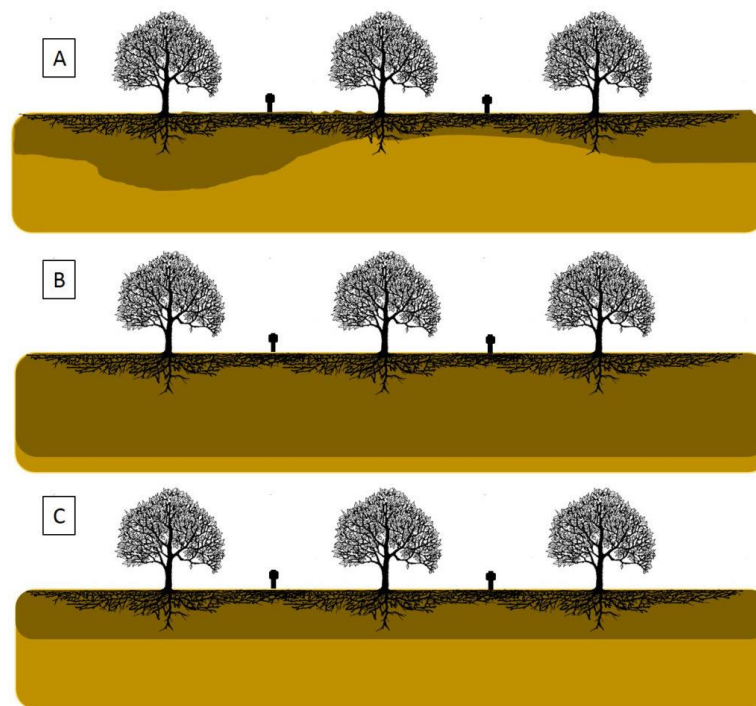


Figura 3 - Relação entre uniformidade e eficiência – A: rega não-uniforme e que seja “eficiente”; B: rega uniforme e ineficiente e C: rega uniforme e eficiente (Dukes s/d).

Melo (2021) e Pimenta (2021) realizaram avaliações a sistema de rega gota-a-gota também pertencentes ao ISA. No caso de Melo (2021), essas avaliações foram efetuadas nos sistemas instalados num pomar de citrinos e outro de macieiras, tendo concluído que o desempenho dos sistemas, ao nível da uniformidade da rega é, respetivamente boa e excelente. Pimenta (2021) avaliou os sistemas de rega de uma vinha e de um olival, tendo identificado problemas relacionados com a uniformidade de distribuição num dos sectores do sistema de rega da vinha. Estes trabalhos também permitiram concluir a importância de efetuar a avaliação do sistema de rega, principalmente, para verificar o seu estado o que não é possível de realizar apenas por inspeção visual numa visita ao campo durante o período de funcionamento do sistema de rega.

Pereira (2007) reportou os resultados da avaliação de vários sistemas de rega gota-a-gota existentes nos perímetros hidroagrícolas da Vigia e do Lucefecit, no Alentejo. Baixos valores de CUD e CUC foram reportados para o caso de um sistema de rega localizada, para a rega de milho com 53% e 71%, respetivamente, sendo, deste modo, o sistema classificado como tendo um desempenho razoável. Para o caso de um sistema de rega localizada para melão os valores foram mais adequados, 82% e 87%, respetivamente. Em sistemas com emissores autocompensantes tanto os valores de CUD como CUC foram sempre superiores a 90%. Mais recentemente, Fina (2018) procedeu à avaliação de dois sistemas de rega localizada no Perímetro de rega do Mucoso, em Angola. Um sistema de rega numa produção de citrinos e outro numa parcela para produção de bananas, tendo obtido uma avaliação da uniformidade de 81,6% e 69,4%, respetivamente. Já António (2018) avaliou, no Vale da Vilarça (Bragança), Portugal, um sistema de rega com quatro setores, de um pomar de pessegueiros apresentou uma uniformidade de distribuição excelente (>90%).

2.3 Gestão da rega de pomares e impactos na produção: o caso da ameixeira

A produtividade máxima de uma determinada cultura está muitas vezes associada à sua manutenção em condições de conforto hídrico, ou à ausência de stresses abióticos e bióticos, encontrando-se, deste modo, a evapotranspirar à taxa potencial (Allen et al., 1998). No entanto, no caso dos pomares e vinhas o objetivo não é promover o conforto hídrico, mas gerir o calendário de rega de modo a impor stress hídrico em fases específicas do ciclo da cultura, uma vez que, deste modo se promove a qualidade da produção (Cammalleri et al., 2013; Lobos et al., 2016; Paço et al., 2019; Rallo et al., 2017, 2021; Williams et al., 2009).

A gestão da rega em pomares de fruteiras visa potenciar a qualidade do fruto sem que a quantidade produzida seja muito afetada sendo tal conseguido com a utilização de estratégias de rega deficitária, que deverão ser adaptadas para cada cultura. Adicionalmente, este tipo de estratégias permitem o controlo do vigor das árvores. Existem três tipos de rega deficitária que são mais comumente usados em pomares (Fereris e Soriano, 2007): 1) Rega deficitária convencional a qual consiste na aplicação de uma fração da evapotranspiração cultural (ET_c) mais ou menos constante desde o início da rega até à proximidade da colheita; 2) Rega deficitária controlada (*Regulated Deficit Irrigation* - RDI) que consiste na imposição de rega deficitária com períodos de stress hídrico em fases específicas, não críticas, do ciclo da cultura; e 3) Rega deficitária alternada (PDI) a qual consiste na rega alternada a cada metade do sistema radical por períodos de 10 a 15 dias.

Várias estratégias de rega deficitária têm sido objeto de estudo efetuados em pomares de ameixeiras. Os trabalhos de Intrigliolo e Castel (2010) e de Moñino et al. (2020) são exemplos de aplicações de RDI. Segundo Moñino et al. (2020), a fase de endurecimento do caroço é, regra geral, considerado um período não crítico para a imposição de stress hídrico.

No estudo efetuado por Intrigliolo e Castel (2010) foi aplicada uma estratégia RDI em “ameixas francesas”, mais conhecida por ameixa Rainha-Cláudia (*Prunus domestica* subsp. *italica*), mostrando que a RDI mais adequada é aquela em que se impõe um défice moderado durante as fases iniciais do ciclo, ou seja, no desenvolvimento vegetativo e, impondo um défice mais severo no fim do ciclo de produção da cultura. Esta estratégia permitiu poupar aproximadamente 30% de água de rega quando comparada com a rega para a satisfação das necessidades hídricas da planta assim como alcançar uma melhoria da qualidade do fruto.

Em estudos efetuados em ameixeiras japonesas (*Prunus salicina* L.), verificou-se que a melhor estratégia de RDI consiste impor restrições de água (stress hídrico) durante a fase do endurecimento do caroço e no período pós-colheita (Intrigliolo e Castel 2010; Samperio et al., 2015a,b).

No estudo efetuado por Moñino et al. (2020) onde foram aplicadas e comparadas três estratégias de rega: 1) rega para a satisfação das necessidades hídricas das árvores; 2) RDI com défice hídrico na fase de crescimento dos frutos (endurecimento do caroço) e no período pós-colheita; e 3) um único período de rega deficitária ocorrendo desde a pré-colheita até ao final da campanha de rega. As estratégias RDI permitiram durante os anos de estudo uma poupança média de água de 18 - 24% em comparação com a estratégia de conforto hídrico, sem registo de impactos negativos na produção, assim como no calibre dos frutos.

Maatallah et al. (2015) estudou uma estratégia RDI aplicada a ameixeiras das variedades Black-Diamond, Black-Amber e Black-Start. Na estratégia RDI foi fornecida às árvores 50% da rega que era fornecida na estratégia de rega de controlo, o que permitiu obter resultados positivos relativamente à qualidade do fruto, isto é, registou-se um aumento da firmeza do fruto, do pH, da concentração de sólidos solúveis e do teor de sacarose, assim como uma diminuição da acidez total. Em oposição verificou-se uma redução do diâmetro e do peso do fruto.

Outros estudos confirmaram as vantagens da adopção de estratégias RDI durante o crescimento dos frutos uma vez que permitem melhorar a qualidade do fruto nomeadamente em termos do aumento da sua firmeza assim como da concentração total de sólidos solúveis (Intrigliolo e Castel 2012; Torrecillas et al., 2018).

2.4 Evapotranspiração (ET_c) de cobertos descontínuos

A evapotranspiração de uma cultura (ET_c) resulta na transferência de água para a atmosfera através da transpiração das plantas, assim como, por evaporação da água da camada superficial do solo (Allen et al., 1998). A evaporação de um solo cultivado, como é o caso dos pomares, é sobretudo dependente da fração de solo que é humedecida, quer pela rega como pela precipitação, assim como pela fração da radiação solar que atinge a superfície do solo. À medida que a cultura se desenvolve a área de solo sombreada pela copa das árvores é maior e, desse modo, a fração da radiação solar que atinge a superfície do solo vai sendo menor ao longo do período de cultivo (Allen et al., 1998; Rallo et al., 2021).

Existem diferentes métodos para a medição da evapotranspiração em condições naturais e que, na sua generalidade, se podem classificar em dois grandes grupos: métodos hidrológicos e os métodos micrometeorológicos (**Quadro 2.3**).

Quadro 2.3 – Exemplos de métodos usados para determinar a evapotranspiração da cultura (adaptado de Allen et al. (2011) e Rana e Katerji (2000)).

Abordagens de medição	Métodos de medição
Hidrológicas	Balço hídrico do solo Lisímetros de pesagem, de drenagem e de toalha freática
Micrometeorológicas	Balço de energia através das Flutuações instantâneas (Eddy covariance), Razão de Bowen (Bowen Ratio Energy Budget), Cintilometria (Scintillometry), e a Análise da renovação na superfície (Surface Renewal Analysis)
A partir da fisiologia das plantas	Fluxo de seiva (determinação da transpiração) associado a micro-lisímetros (determinação da evaporação do solo)

Adicionalmente pode determinar-se a ET_c com base na combinação da medição da transpiração das culturas a partir dos fluxos de seiva e da evaporação do solo com micro- ou mini-lisímetros. Contudo, independentemente do método que se usa, a determinação da evapotranspiração está sempre dependente das condições da vegetação (condução do pomar), da área vegetada, do tipo de solo, do sistema de rega e das condições climáticas (Allen et al., 1998, 2011).

De entre os métodos indiretos existentes para a estimativa da ET_c destaca-se a metodologia dos coeficientes culturais proposta pela FAO (Allen et al., 1998). Com a qual a ET_c é estimada multiplicando a evapotranspiração da cultura de referência (ET_o, mm d⁻¹), pelo coeficiente cultural (K_c, adimensional). A ET_o é calculada pela equação de Penman-Montheith parametrizada para uma cultura hipotética com características bem definidas em termos de altura (0,12 m), e com resistência de superfície constante (70 s m⁻¹) e um albedo também

constante (0,23), semelhante à evapotranspiração de um extenso coberto de relva em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, bem abastecido de água e na ausência de stress bióticos e abióticos (Allen et al., 1998; Pereira, 2004). A ET_o depende de diversas variáveis climáticas e, por isso, caracteriza a procura climática.

Os coeficientes culturais integram os efeitos das características da cultura em estudo que a distinguem em termos de balanço de energia relativamente à cultura de referência. Existem duas aproximações para o cálculo dos coeficientes culturais: 1) coeficientes culturais médios, representando o efeito combinado da evaporação do solo e da transpiração das culturas (a mais utilizada, uma vez que a sua determinação é mais simples); 2) coeficientes culturais duais, a qual considera separadamente a evaporação do solo, através do coeficiente de evaporação do solo (K_e) e da transpiração das plantas, através do coeficiente cultural de base (K_{cb}).

Adotando a abordagem dos coeficientes culturais médios a ET_c é obtida como (Allen et al., 1998):

$$ET_c = K_c ET_o \quad [9]$$

onde:

K_c (adimensional) é o coeficiente cultural;

ET_o (mm d^{-1}) a evapotranspiração de referência.

No entanto, em condições de stress hídrico e/ou salino, a ET_c potencial não é alcançada, progredindo a ET_c a uma taxa mais baixa, correspondente à evapotranspiração atual ($ET_{c \text{ act}}$). Nestas condições a ET_c é ajustada usando um coeficiente de stress (K_s) (equação [10]).

$$ET_{c \text{ act}} = K_s K_c ET_o \quad [10]$$

onde:

$ET_{c \text{ act}}$ correspondente à evapotranspiração atual (mm d^{-1});

K_s é o coeficiente de stress (adimensional);

K_c é o coeficiente cultural (adimensional);

ET_c é a evapotranspiração cultural (mm d^{-1}).

No caso dos pomares, uma vez que a cobertura do solo é descontínua, a utilização da aproximação dos coeficientes de culturais duais apresenta uma maior precisão (Allen et al., 1998; Allen e Pereira, 2009; Pereira et al., 2021). Esta aproximação permite estimar separadamente a componente de evaporação de água do solo ($E_s = K_e ET_o$) e da transpiração das culturas ($T_c = K_{cb} ET_o$).

Existem modelos que permitem a determinação da ET_c com base na metodologia da FAO; são exemplos os modelos ISAREG (Teixeira e Pereira, 1992), IrrigRotation (Rolim e Teixeira,

2008), e SIMDualKc (Rolim et al., 2005, 2007; Rosa et al., 2012); o primeiro utiliza os coeficientes culturais médios e os outros aplicam a aproximação dos coeficientes culturais de base. Exemplo de aplicações do modelo SIMDualKc são os estudos de Fandiño et al. (2012) a uma vinha, o de Peddinti e Kambhammettu (2019) aplicado a um pomar de citrinos, o de Paço et al. (2012) referente a um pomar de pessegueiros e o de Paço et al. (2019) relativo a um olival super-intensivo.

Segundo Allen et al. (1998), o ciclo das culturas pode ser dividido em inicial, desenvolvimento rápido, período intermédio e período final. Sendo que se definem três valores de K_c o relativo à fase inicial, fase intermédia e fase final. Os valores de K_c para as distintas fases do ciclo de pomares definidos para um clima semi-húmido ($RH_{\min} = 45\%$ e $u_2 = 2 \text{ m s}^{-1}$) encontram-se tabelados em Allen et al. (1998) e foram recentemente revistos por Rallo et al. (2021). Na revisão efetuada por Rallo et al. (2021) referem que para pomares de ameixeiras, de baixa densidade (fração de cobertura do solo $f_c > 0,30$) e que podem atingir uma altura entre 2,0 a 3,0 m, o valor tabelado do K_c médio é de 0,60. No entanto, no mesmo estudo é referido que esse valor poderá variar em $\pm 10\%$.

Allen and Pereira (2009) propuseram uma aproximação simplificada para a estima da ET_c na qual o valor de K_{cb} e K_c está directamente dependente da altura da cultura (h), da fração de cobertura (f_c), da transparência do coberto (M_L) e do controlo estomático (F_r). Recentemente, Pereira et al. (2021) reviu esta aproximação para várias culturas anuais e perenes.

2.5 Balanço Hídrico

Para se conseguir realizar a gestão da rega é essencial ter presente o balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes (**Figura 4**), ou seja, as necessidades de rega da cultura são estimadas através do balanço hídrico do solo explorado pelas raízes da cultura (Pereira, 2004):

$$\Delta S = (P + I + CR) - (E_s + DP + RO + T_c) \quad [11]$$

onde:

ΔS – Variação do armazenamento de água no solo;

P – Precipitação efetiva;

I – Dotação de rega;

CR – Fluxo de ascensão capilar no período Δt ;

RO – Escoamento superficial nesse mesmo período;

DP – Fluxo acumulado de drenagem profunda ou percolação;

E_s – Evaporação a partir do solo;

T_c – Transpiração da cultura.

Todas as variáveis presentes na equação [11] podem ser expressas em volume por unidade de área; contudo, é mais usual exprimi-las em milímetros (mm) (acumulados para o mesmo intervalo de tempo).

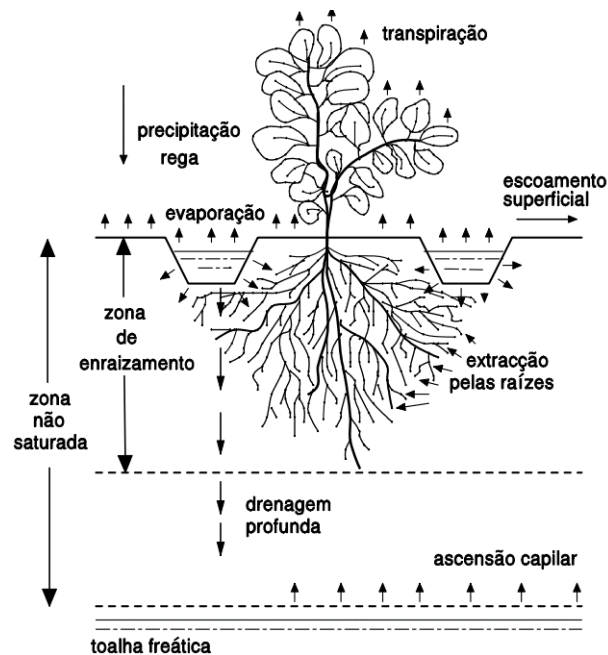


Figura 4 - Balanço hídrico de um solo cultivado (Fernando, 1998).

No balanço hídrico do solo é preciso ter em conta a quantidade de água armazenada no solo e, para tal, é necessário conhecer-se os valores do teor de água à capacidade de campo (CC), e ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE), assim como a reserva facilmente utilizável (RFU). O CC é definida como sendo o teor de água no solo a partir do qual a drenagem se torna quase nula. O CE é definido como sendo o teor de água abaixo do qual as forças de absorção e adsorção do solo ultrapassam as forças que as culturas conseguem desenvolver para extrair do solo a água necessária ao seu desenvolvimento. A RFU corresponde a uma parte da água que se encontra disponível no solo para as plantas utilizarem (Oliveira, 2011; Ramos et al., 2016; Raposo 1996).

3 Materiais e métodos

Nesta Secção encontram-se descritos a localização e a caracterização da parcela onde o pomar está instalado, assim como do sistema de rega que foi avaliado. Adicionalmente, são descritos o método de cálculo dos volumes de água a fornecer às plantas, assim como os indicadores utilizados para a avaliação do desempenho e do projeto do sistema de rega, e, por último, os materiais/equipamentos utilizados para realizar todas as medições.

3.1 Caracterização do local de ensaio

3.1.1 Localização do ensaio

A avaliação do sistema de rega de rega gota-a-gota decorreu num pomar de ameixeiras localizado no ISA, Lisboa, ($38^{\circ}42'27.5''\text{N}$; $9^{\circ}10'56.3''\text{W}$) como indicado na **Figura 5**.

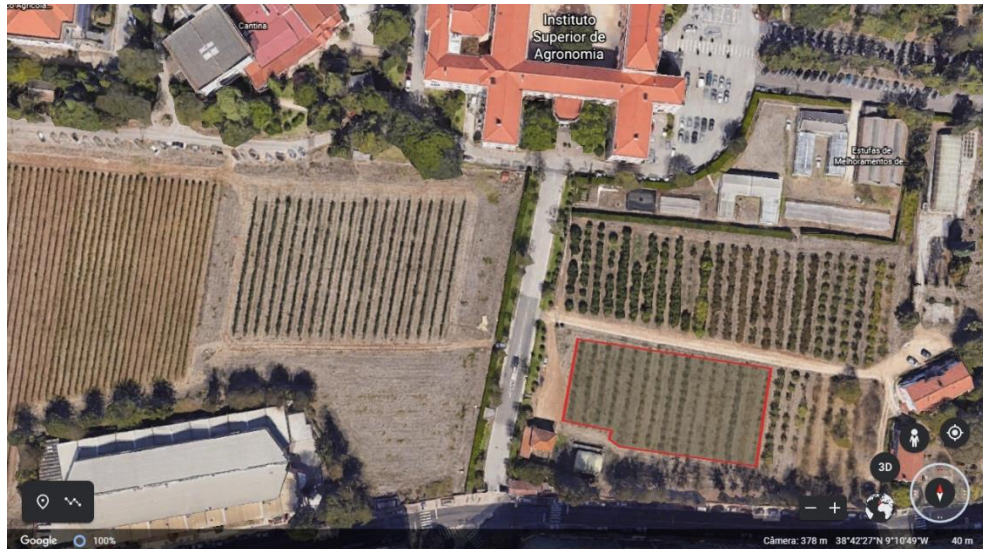


Figura 5 - Localização do pomar de ameixeiras, cujo sistema de rega será avaliado, delimitado com um contorno de cor vermelha (Google Earth, 2021).

3.1.2 Clima

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, o concelho de Lisboa, apresenta um clima temperado, com verão quente e seco, predominantemente Csa (Kottek et al., 2006). Lisboa, no período de 1981-2010, apresenta uma temperatura média de $17,4^{\circ}\text{C}$ e uma pluviosidade média anual de $765,8\text{ mm}$, sendo esta maioritariamente concentrada nos meses de inverno, apresentando o mês de novembro a precipitação média mais elevada, com cerca de $127,5\text{ mm}$, enquanto o mês de julho é o mais seco (IPMA, 2022). Na **Figura 6** encontram-se a precipitação e a ET_o (1959-2008), registadas pela estação meteorológica do Instituto Geofísico Infante D. Luiz (Jardim Botânico), Lisboa, e que permite analisar a informação acima descrita. Verifica-se que durante o ciclo da ameixeira (fevereiro-julho) a precipitação não é suficiente para suprir a procura climática (ET_o) sendo necessário recorrer à rega.

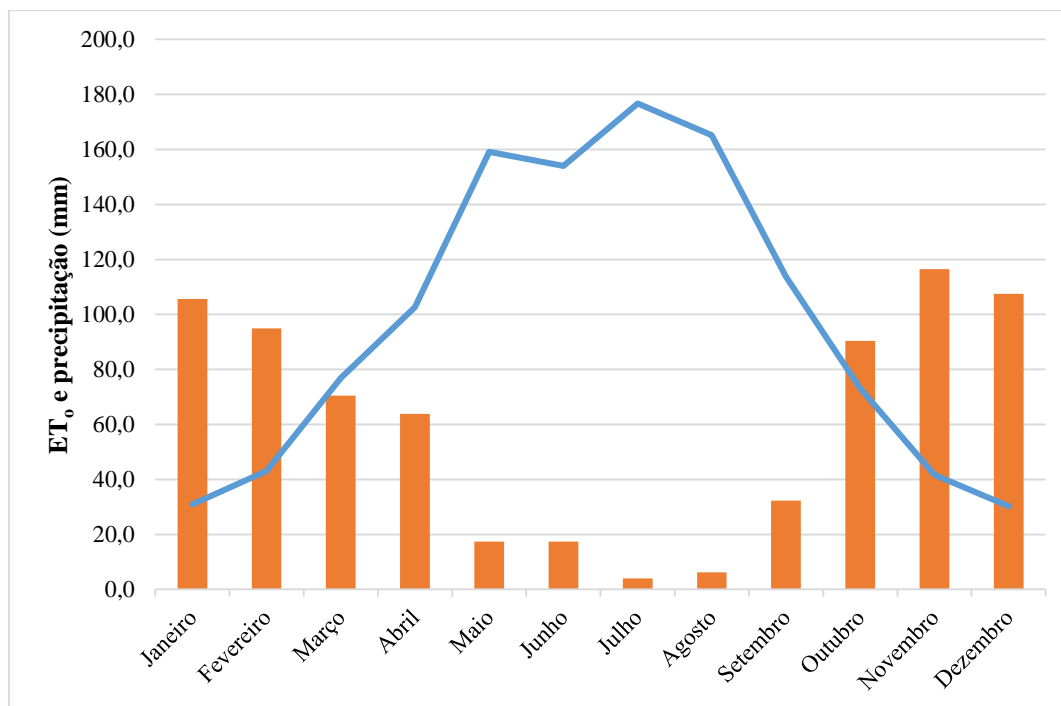


Figura 6 – Média mensal da precipitação (■) e da evapotranspiração da cultura de referência (ET₀, —) em Lisboa (Instituto Geofísico Infante D. Luiz) durante o período 1959-2008.

3.2 Caracterização do pomar

Com uma área de cerca de 2300 m², o pomar é constituído por 15 linhas de árvores com uma orientação Norte-Sul. As árvores, conduzidas em vaso e em eixo, foram plantadas entre 2013 e 2016, com um compasso de três metros na linha e cinco metros na entrelinha.

Existem diversas variedades de ameixeira presentes no pomar: Rainha Cláudia Verde; Rainha Cláudia de Bavay; Primetime; Stanley; Black Splendor; Black Diamond; Laetitia; Sapphire; Pioneer e Fortune. Já em relação aos porta-enxertos foram usados o GF8.1, o Mirobolano e o 29-C, sendo o primeiro o mais utilizado. No pomar temos variedades precoces, como por exemplo a Black Splendor e a Black Diamond, depois a variedade Fortune e por fim as variedades mais tardias que são as variedades Laetitia e a Sapphire, sendo a colheita destas feita a partir da segunda quinzena de julho.

Ao longo do ciclo da cultura foram observadas as datas do início dos vários estados fenológicos (**Quadro 3.1**). Esta informação foi posteriormente utilizada na modelação (Secção 3.5). A determinação dos vários estados fenológicos foi efetuada por observação no pomar e tendo como base a escala de Baggiolini (1952). A profundidade das raízes que foi visualmente medida e adotada na modelação foi de 0,80 m.

Quadro 3.1 – Datas das diferentes fases fenológicas da ameixeira, em 2021, com a respetiva correspondência com as fases da FAO.

Data	Estados fenológicos	Fases segundo a FAO
16 de fevereiro	Inchamento dos gomos	Inicial
02 de março	Crescimento vegetativo	Inicial
05 de março	Vingamento	Desenvolvimento vegetativo
10 de março	Formação/desenvolvimento do fruto	Reprodutivo
06 de julho	Maturação	Reprodutivo
30 de julho	Colheita	Maturação

De modo a melhorar a caracterização do pomar procedeu-se à medição da altura de 126 árvores. O procedimento adotado para esta medição foi com recurso a um escadote e a uma fita métrica com o objetivo de medir as árvores. A medição foi efetuada desde o solo até à zona mais alta da árvore onde existia uma uniformidade da copa. Esta medição foi efetuada no período de desenvolvimento do fruto (maturação do fruto). Verificou-se que árvores apresentam uma altura média de 2,30 m (**Anexo I**).

Quanto à fração de cobertura do solo pelas árvores (f_c) esta foi determinada mediante a medição ao meio-dia solar da projeção do ensombramento do solo pelas árvores. No **Anexo II** apresentam-se as medições efetuadas. Verificou-se que existe uma elevada heterogeneidade do pomar e que a f_c média aproximada é de 0,50.

Cada árvore é regada por dois emissores. Assim, mediu-se a extensão do bolbo húmido, tendo para o efeito sido aberto uma pequena vala a partir do tronco da árvore para o centro da entrelinha até se verificar que o solo se encontrava seco. Verificou-se que este tinha 0,90 m de comprimento (comprimento medido do tronco da árvore para a entrelinha).

3.3 Caracterização do solo

Como não existiam dados que permitissem caracterizar as propriedades físicas e de retenção de água do solo existente no pomar de ameixeiras do ISA procedeu-se à abertura de um perfil (**Figura 7**), com cerca de 1,30 m de profundidade, 2,10 m de comprimento e 2,00 m largura, seguindo-se a recolha de amostras de solo para as referidas determinações. Foram colhidas três amostras de solo não perturbadas, em cilindros com 58,91 cm³ de volume, e uma amostra de solo perturbado, com aproximadamente 0,5 kg, para as distintas camadas de solo previamente identificadas. Assim, as colheitas foram efetuadas nas camadas 0,00 – 0,10; 0,10 - 0,20; 0,20 - 0,30; 0,30 - 0,50 e 0,50 - 0,80 m.



Figura 7 – Abertura do perfil do solo.

As amostras de solo não perturbadas, ou seja, amostras que conservam as características naturais, nomeadamente a estrutura e a porosidade do solo, principais responsáveis pela dinâmica da água do solo, foi efetuada como anteriormente referido recorrendo-se a cilindros de aço inoxidável (Ramos et al., 2016). Cada cilindro foi colocado sobre uma superfície plana nos diferentes patamares abertos a cada profundidade amostrada e, de modo a permitir a colheita, procedeu-se à remoção do solo no seu redor (**Figura 8**). Quando cada cilindro se encontrou totalmente preenchido de solo foi retirado usando-se uma pá. Os cilindros foram retirados com excesso de solo, quer na parte superior quer na inferior e posteriormente em laboratório foi retirado o excedente durante a preparação da amostra (INIAV, 2021). Cada cilindro foi selado, com o objetivo de preservar ao máximo a amostra recolhida, e identificado consoante a profundidade a que foi colhida. As amostras perturbadas foram colhidas para dentro de sacos de plástico, devidamente selados e identificados.



Figura 8 – Recolha de amostra não perturbada.

3.3.1 Caracterização pedológica do perfil do solo

Com base nas características visuais do perfil foi possível identificar, em termos pedológicos, quatro camadas distintas como mostra a **Figura 9**.

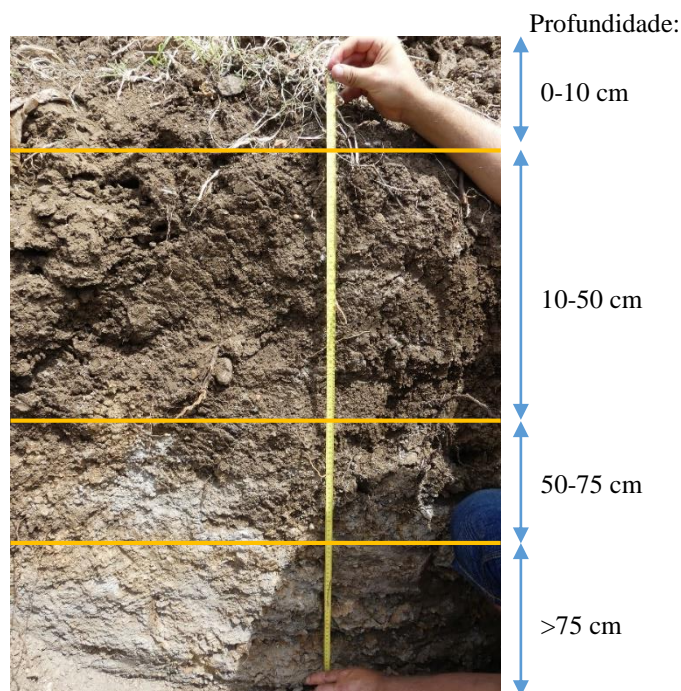


Figura 9 - Perfil de solo com a marcação dos horizontes (Foto cedida por N. Cortez, 2021).

Nos primeiros 0,50 m foi considerado que se trata de uma zona que sofreu mobilização mecânica no momento em que o pomar foi instalado e, sendo assim, segundo Madeira e Ricardo (2017), está-se perante um horizonte A_{P1} nos primeiros 0,10 m de profundidade e um horizonte A_{P2} entre os 0,10 m e os 0,50 m. Depois, entre os 0,50 e os 0,75 m de profundidade,

considerou-se como sendo um horizonte de transição, uma vez que se verifica a presença de materiais tanto do horizonte superior como da rocha subjacente, esta correspondente ao horizonte C, abaixo dos 0,75 m de profundidade (0,80 m explorada pelas raízes).

Com base nesta caracterização, identificou-se o solo, de acordo com a classificação WRB, como sendo um Vertissolo (IUSS Working Group WRB, 2014) e, segundo a classificação portuguesa, como sendo um Barro (Cardoso, 1974), devido à elevada proporção de argila (**Quadro 3.3**). Para afinar a caracterização, seria necessário fazer análise às amostras de solo para determinação da M.O., assim como identificar o tipo de argila.

3.3.2 Determinação da textura do solo

As amostras perturbadas foram submetidas a uma análise mecânica em laboratório para determinar a composição granulométrica de cada uma das amostras correspondentes a cada profundidade do perfil do solo, tal como já foi referido.

Todo o processo laboratorial foi executado segundo o método da pipeta, como descrito por Póvoas e Barral (1992). O procedimento iniciou-se pela secagem das amostras em estufa a ± 37 °C durante 48 horas. Na sequência crivaram-se as amostras num crivo de malha de 2 mm com o objetivo de remover os resíduos vegetais, assim como separar os elementos grosseiros dos elementos finos. Procedeu-se à pesagem dos elementos grossos e finos de cada amostra e registaram-se os valores, tendo-se reservado apenas os elementos finos para as etapas seguintes da análise (**Quadro 3.2**).

Quadro 3.2 – Percentagem das componentes das amostras perturbadas de solo.

Profundidade (cm)	Elementos finos (E.F.) (%)	Elementos grosseiros (E.G.) (%)
10	69,3	30,7
20	61,0	39,0
30	59,3	40,7
50	73,7	26,3
80	78,9	21,1

Primeiro, deve-se despistar a presença de bicarbonatos no solo. Para tal, a aproximadamente uma colher de chá de elementos finos de cada amostra, adicionaram-se algumas gotas de ácido clorídrico a 10%. Verificou-se uma pequena reação de efervescência nas amostras das duas primeiras camadas, mas, como foi algo residual, não foi necessário proceder-se à destruição dos bicarbonatos.

O passo seguinte consistiu na oxidação da M.O., recorrendo-se a 15 ml de água destilada para humedecer a amostra de solo e adicionou-se 15 ml de água oxigenada a 30% para proceder à oxidação. Deixou-se repousar, com o objetivo de se obter um líquido sobrenadante límpido

e incolor. Não se tendo isto verificado, foi necessário ir acrescentando pequenas quantidades de água oxigenada até se obter esse resultado.

Após a oxidação da M.O., procedeu-se à etapa da dispersão onde se adicionou a cada amostra tratada um pouco de solução dispersante de hexametáfosfato de sódio e água destilada. Depois da preparação, as amostras permaneceram num agitador de um dia para o outro, cerca de 16 horas, de forma a ocorrer a dispersão das partículas das amostras.

Por fim, tem-se a última etapa, que consiste na separação das frações; isto é, separar em cada amostra a areia grossa (A.G.), a areia fina (A.F.), o limo (L) e a argila (A). Os resultados obtidos são trabalhados de forma a se obterem os resultados presentes no **Quadro 3.3**.

Quadro 3.3 - Análise mecânica das amostras de solo (granulometria <2 mm).

Profundidade (cm)	A.G. (g kg⁻¹)	A.F. (g kg⁻¹)	L (g kg⁻¹)	A (g kg⁻¹)
10	146,7	246,0	232,2	375,1
20	117,1	250,1	242,8	389,9
30	144,2	231,0	232,8	392,1
50	153,8	244,1	202,3	399,8
80	340,2	356,7	145,6	157,5

3.3.3 Determinação da curva de retenção de água no solo

Através do método das painelas de pressão, determinou-se a curva de retenção de água no solo. Assim, com recurso às amostras não perturbadas foram efetuadas, pelos técnicos do laboratório de pedologia do ISA, as análises das características de retenção de água no solo nomeadamente o teor de água correspondente à capacidade de campo (CC) e ao coeficiente de emurchecimento permanente (CE). Na determinação do teor de água à capacidade de campo as amostras foram, numa fase inicial, saturadas e, seguidamente, colocadas dentro de uma painela de pressão equivalente de -33 kPa, até ter sido atingido o equilíbrio entre o teor de água na amostra e a pressão exercida. O mesmo processo foi realizado para determinar o teor de água correspondente ao coeficiente de emurchecimento permanente, mas, desta vez, as amostras foram sujeitas a uma pressão equivalente de -1500 kPa (Ramos et al., 2016). No **Quadro 3.4** encontra-se a média das três amostras colhidas em cada profundidade e com o respetivo desvio padrão.

Quadro 3.4 - Resultados da análise das características de retenção de água no solo.

Profundidade (m)	θ_{CC}^* (%)	θ_{CE}^* (%)
0,10	27,38 (\pm 0,49)	21,23 (\pm 0,56)
0,20	27,52 (\pm 0,81)	22,06 (\pm 0,80)
0,30	28,23 (\pm 0,57)	22,37 (\pm 0,91)
0,50	26,84 (\pm 0,32)	20,40 (\pm 0,55)
0,80	27,48 (\pm 6,33)	20,88 (\pm 6,67)

* valor médio (\pm desvio padrão); θ_{CC} – Teor de água do solo à capacidade de campo; θ_{CE} – Teor de água do solo ao coeficiente de emurchecimento permanente.

3.4 Caracterização do sistema de rega

3.4.1 Esquema do sistema de rega

O esquema do sistema de rega do pomar das ameixeiras (**Figura 10**) foi desenhado com recurso ao QGIS e feito à escala 1/1290. Uma vez que não existe documentação sobre o dimensionamento do sistema de rega, recorreu-se ao Professor José Luís Teixeira, do ISA, pelo seu conhecimento do sistema, de forma a ser possível identificar o equipamento presente no cabeçal de rega, assim como o percurso aproximado das condutas principais e secundárias.

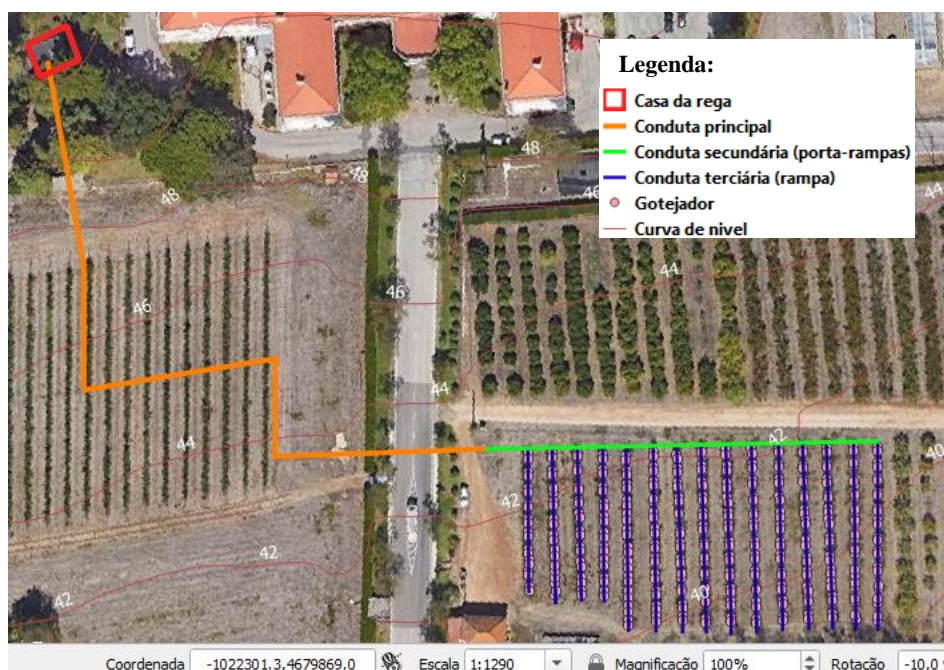


Figura 10 – Representação esquemática do sistema de rega entre a casa da rega e o pomar (Google Earth, 2021).

Apresenta-se na **Figura 11**, como exemplo, parte do porta-rampas com identificação de três rampas e da localização dos gotejadores em relação às árvores.

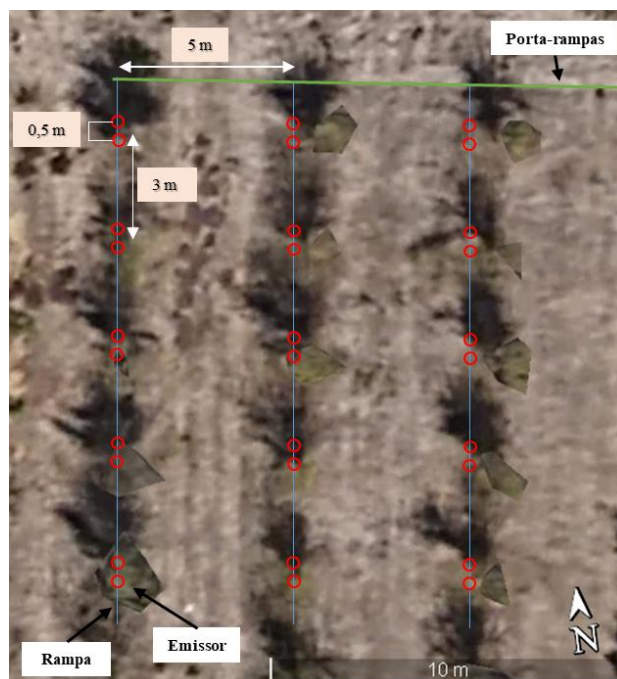


Figura 11 – Espaçamento entre rampas e entre gotejadores do sistema de rega no pomar das ameixeiras (Google Earth, 2021).

No **Quadro 3.5** encontra-se uma caracterização dos componentes deste sistema de rega.

Quadro 3.5 – Caracterização do sistema de rega.

Área da parcela (m²)		2300
Compasso (m x m)		3x5
Número (Nº) de árvores no pomar		172
Nº de linhas no pomar		15
Nº árvores por rampa	Primeiras quatro rampas	10
	Restantes 11 rampas	12
Nº de gotejadores por rampa	Primeiras quatro rampas	20
	Restantes rampas	24
Nº de gotejadores por árvore		2
Caudal à saída da casa da rega (m³ h⁻¹)		1,84

3.4.2 Casa da rega

O cabeçal de rega encontra-se na casa da rega situada próximo da cantina do ISA e acima do pomar. O cabeçal é constituído por sistemas de filtragem, de fertirrega, de controlo e de automatização.

O sistema de rega é abastecido pelo reservatório de capacidade de armazenamento de 300 m³ o qual está localizado abaixo do Miradouro e com um desnível em relação ao pomar de cerca de 90 m (AgroGes, 2020). Este reservatório é abastecido a partir de um furo, e com recurso a uma bomba (Wilo AG 44263 Dortmund Germany) que entra em funcionamento quando é atingido um nível mínimo de armazenamento, e que cessa de funcionar quando o nível máximo de armazenamento é atingido.

No início do cabeçal de rega encontra-se um filtro de malha de 5 mesh (Copersa modelo 18402) (**Figura 12**), o qual tem como função reter as partículas com diâmetro igual ou superior a 50 mm que se encontrem presentes na água. Este filtro tem a capacidade de suportar um caudal máximo de $20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, assim como pressões até 10 bar (ODIS, 2021). Este filtro foi adicionado ao cabeçal de rega, já instalado, na sequência de obras de manutenção do pavimento dos caminhos da Tapada da Ajuda, que danificaram a conduta principal, levando à entrada de pedras no seu interior, as quais, ao serem transportadas pela água, acabaram por danificar o cabeçal de rega, o que resultou na sua substituição parcial.



Figura 12 - Filtro de malha.

A seguir ao filtro temos, como é possível observar na **Figura 13**, uma válvula de segurança e uma electroválvula (modelo Galsol, da marca Regaber (Regaber, 2020e)), a qual é ativada e desativada por meio de um solenoide da marca Dorot (Dorot, 2021), controlando assim a passagem da água no interior da conduta. Depois, tem-se um contador de água (40 mm $1^{1/2}$ CMS Seco) que mede caudais com um fluxo mínimo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e um fluxo máximo de $12,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, a uma pressão máxima de 10 bar (ARADGROUP, 2020a). Seguido de uma válvula redutora de pressão de 4 bar, da Netafim, uma vez que a água chega à casa da rega com uma pressão de 8 bar e é necessário reduzi-la para 4 bar.

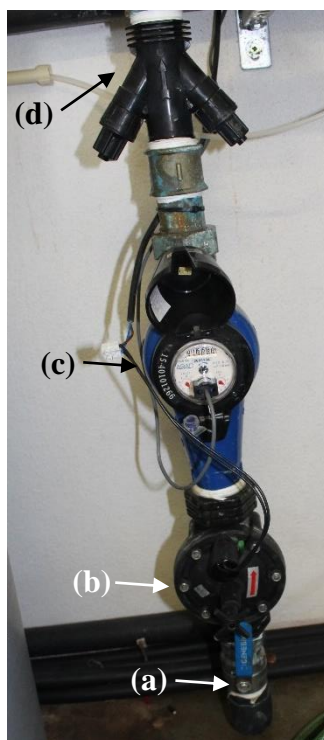


Figura 13 – Parte do cabeçal de rega onde se encontra a válvula de segurança (a); a electroválvula (b); o contador de caudal (c) e a válvula redutora de pressão (d).

Antes do sistema de fertirrega existe, ainda, um filtro de discos Aquapró 2" (120 mesh), com uma capacidade máxima de funcionamento de $25 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Aquamatic, 2019) que possui, tanto a montante como a jusante, um manómetro de glicerina de medição até 10 bar (Regaber, 2021), o que permite verificar se o filtro está colmatado ou não. É de realçar que entre o filtro e o manómetro instalado a jusante encontra-se uma válvula de retenção ou antirretorno, da marca Regaber (Regaber, 2020a), com o objetivo de não permitir que a água da fertirrega vá contaminar/poluir a água potável/limpa da rede (**Figura 14**).

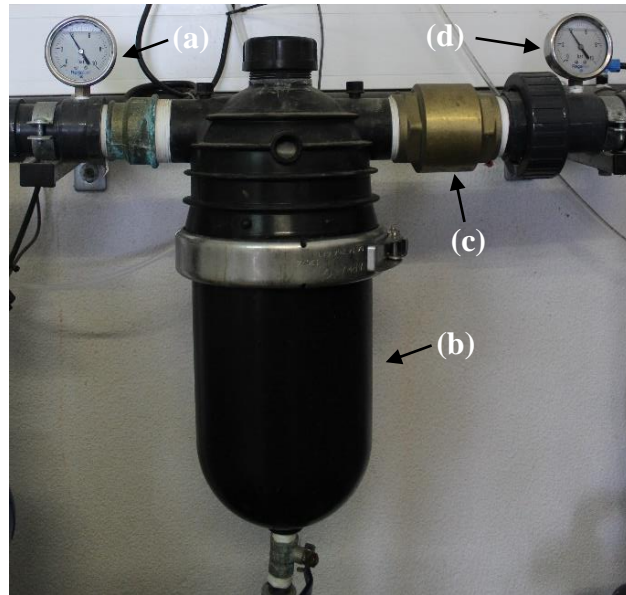


Figura 14 – Sistema de filtragem. Manómetro, antes do filtro de discos (a); filtro de discos (b); válvula antirretorno (c); manómetro, depois do filtro de discos (d).

Já no sistema de fertirrega, existem quatro depósitos troncocónicos, com uma capacidade individual de 500 litros, ligados, cada um, a um sistema de injeção de adubo no sistema de rega (**Figura 15**). Em cada depósito, é produzida e armazenada uma solução nutritiva, que passará por um filtro malha de 1" (tlh-l-120 mesh), da Regaber (Regaber, 2020d), com o objetivo de reter possíveis sedimentos resultantes da sedimentação da solução no interior do depósito, antes de ser injetada na água da rega. Para além do filtro, existe um medidor de fertilizante de 3/4", que permite registar a quantidade de solução que se está a injetar na água da rega (ARADGROUP, 2020b). Seguidamente, a solução passa por uma electroválvula modelo Galsol, da marca Regaber (Regaber, 2020e), que é ativada/desativada através de um solenoide, modelo Aquative, da marca Netafim (Regaber, 2020a). O fertilizante líquido é depois enviado, por ação de uma bomba doseadora de piston da marca Sako, de capacidade 220 l h^{-1} e que funciona a uma pressão máxima de 8 bar, para o sistema de rega onde se irá misturar com a água da rega.

Este sistema de fertirrega possui um circuito de retrolavagem para lavar os filtros de malha da Regaber (Regaber, 2020d). A água limpa entra no sistema de fertirrega após a abertura da segunda electroválvula, modelo Galsol, da marca Regaber (Regaber, 2020e), que é ativada/desativada através de um solenoide, da marca Dorot (Dorot, 2021).



Figura 15 – Sistema de fertirrega.

O circuito de fertirrega é completado com dois circuitos de injeção em cada depósito, sendo um de injeção de água e, o outro, de ar comprimido. A injeção de água nos depósitos é controlada manualmente e tem como finalidade permitir a preparação das soluções nutritivas. Já para a injeção de ar comprimido no fundo dos tanques, é necessário recorrer-se a um soprador de canal lateral GAER para agitar e dissolver os fertilizantes na água, permitindo, assim, manter a solução estável e evitar a sedimentação no interior de cada tanque (Regaber, 2020c) (**Figura 16**).

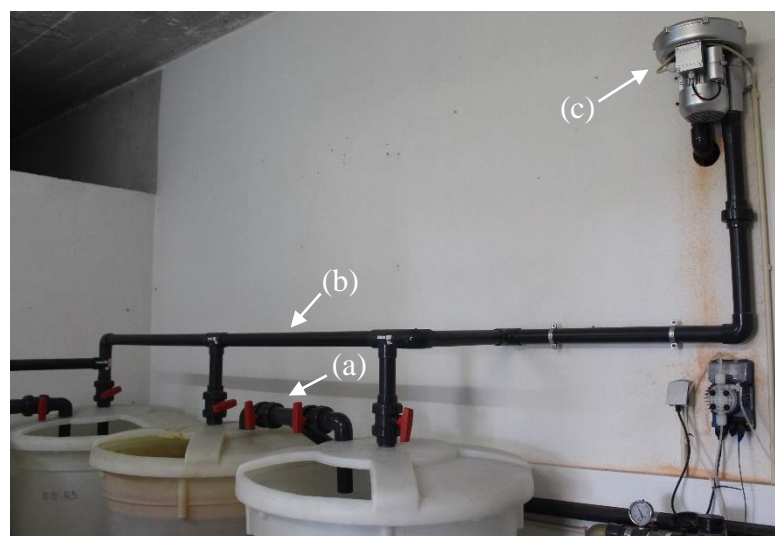


Figura 16 - Circuito de injeção de água (a) e circuito de ar (b) com recurso a uma bomba de ar comprimido (c).

A seguir ao sistema de fertirrega encontram-se duas sondas, uma para medição do pH e, outra, para medir a condutividade elétrica da água da rega.

Depois encontram-se nove condutas ativas, das quais oito são para a rega dos setores agrícolas, uma por setor, e a nona conduta fornece água aos espaços verdes do ISA (**Figura 17**). Todas as condutas que levam água para os setores agrícolas possuem uma electroválvula, modelo Galsol, da marca Regaber (Regaber, 2020e), que funciona através de um solenoide, da marca Dorot (Dorot, 2021), as quais permitem uma automatização da rega naqueles setores.

Como os pomares se encontram a uma cota inferior à da casa da rega, é necessário que ocorra uma redução de pressão hidráulica de 4 bar para 2,5 bar, de forma a permitir que a água chegue aos gotejadores com uma pressão não superior a 4 bar. Deste modo, as seis condutas referentes aos pomares possuem uma válvula redutora de pressão de 2,5 bar, da marca Netafim, e um manómetro de glicerina de medição até 10 bar (Regaber, 2021). Outra consequência de os pomares se situarem a uma cota inferior à da casa da rega, assim como parte do setor dois da vinha, é a necessidade de uma válvula anti-vácuo, mais conhecida por ventosas (**Figura 18**). Estas válvulas são usadas para possibilitar a saída e a entrada de ar nas condutas. Como os gotejadores são orifícios, a água presente a jusante da electroválvula vai sair por eles, por diferença de pressão, dado que se encontram a uma cota inferior à da casa da rega. A entrada de ar permite evitar o colapso das condutas provocado pelo aumento da pressão negativa no interior das tubagens (Oliveira, 2011; Rain Bird, 2021; Santos, 2017). Na casa da rega encontram-se instaladas válvulas anti vácuo 1/2" da marca Rain Bird (Rain Bird, 2021) (**Figura 18**).



Figura 17 - Condutas de rega de cada setor.



Figura 18 - Válvula Anti-vácuo ou ventosa.

No final do cabeçal de rega, existe um Pressostato XMP C12 MA- 1/2" (**Figura 19**), da Telemecanique, que atua quando existe uma descida brusca de pressão no sistema de rega - o que pode ser um indício para a existência de fugas - e, assim sendo, tem como função desligar o sistema de rega.



Figura 19 – Pressostato.

A bomba doseadora digital TPR 603 (Seko, 2017) (**Figura 20**), que mede e controla o pH da água, é ativada cerca de 10 minutos antes do fim da rega, de forma a injetar no sistema de rega ácido nítrico. Deste modo, efetua um tratamento da água de rega, para diminuir a ocorrência da precipitação de nutrientes no interior das condutas, a qual poderá originar o entupimento dos gotejadores, principalmente após a fertirrega.



Figura 20 – Bomba doseadora de corretores de pH da água.

Por fim, todo o sistema de rega do ISA funciona através de um programador Agronic, modelo 4000 (**Figura 21**), que permite controlar até 99 setores através de 35 programas de rega (Progrés, 2021), e que é programado consoante as necessidades que os pomares apresentem, sejam necessidades hídricas ou nutricionais. A parametrização do programa de controlo de rega é feito na casa da rega, mas também pode ser executado através de uma aplicação para *android*, a Agrónic APP; através da Agrónic WEB; ou, então, da Agrónic PC (Progrés, 2021) permitindo o controlo e gestão de todo o sistema.



Figura 21 - Programador de rega.

3.4.3 Condutas

O sistema no seu todo é constituído por oito condutas principais, enterradas, que saem da casa da rega para abastecerem os oito setores de rega, sendo um deles o pomar das ameixeiras. No **Quadro 3.6** encontram-se indicadas as características da conduta principal, secundária (ou porta-rampas) e terciárias, também conhecidas por rampas. Por fim, é de salientar que, tanto a conduta principal como a conduta secundária encontram-se enterradas. O pomar é constituído por 15 rampas das quais quatro possuem um comprimento aproximado de 30 metros, enquanto as restantes possuem cerca de 36 metros (**Quadro 3.6**).

Quadro 3.6 - Características das condutas do sistema de rega do pomar das ameixeiras.

Conduta	Material	ϕ_{externo} (mm)	Espessura (mm)	$p_{\text{máx}}$ (bar)	Comprimento da conduta (m)
Principal	PE B.D.	32	2	4	175
Porta-rampas	PE B.D.	32	2	4	80
Rampas	PE B.D.	16,2	1	3,5	516*

PE B.D. - Polietileno de baixa densidade; ϕ_{externo} – diâmetro externo; $p_{\text{máx}}$ – pressão máxima.

*quatro rampas x 36 m + 11 rampas x 30 m.

3.4.4 Gotejadores

Os gotejadores são autocompensantes da marca Irritec (**Figura 22**), com um débito de catálogo de $4,0 \text{ l h}^{-1}$ e são distribuídos ao longo das rampas com dois gotejadores por árvore, apresentando uma irregularidade no distanciamento entre gotejadores ao longo das rampas. É de realçar que, no pomar, existem instalados dois tipos de gotejadores o IDrop PC e o IDrop Normal, ambos de fluxo turbulento e que são usados em pomares com o objetivo de evitar entupimentos (Irritec, 2019). A diferença entre estes gotejadores é que os gotejadores do modelo IDrop Normal são indicados para terrenos planos e/ou com declives ligeiros, enquanto os do modelo IDrop PC são indicados para sistemas que com rampas longas e/ou terrenos muito inclinados (Irritec, 2019). No **Anexo III** apresentam-se as características dos dois modelos de gotejadores.



Figura 22 - Gotejador autocompensante utilizado no sistema de rega.

3.5 Programa ISAREG para a simulação do balanço hídrico do solo

O programa ISAREG é um modelo de balanço hídrico do solo que foi desenvolvido no ISA e fundamenta-se na metodologia da FAO (Allen et al., 1998) para o cálculo das necessidades hídricas das culturas. É um programa usado para diversas finalidades dos quais se destaca a geração de alternativas de calendários de rega (**Quadro 3.8**). Existe bibliografia detalhada sobre toda a metodologia e procedimentos necessários para a calibração e validação do modelo assim como para as aplicações dos diversos módulos que compõem o programa (Campos et al., 2003a, b; Oweis et al., 2003; Pereira et al., 2003; Rodrigues et al., 2003; Teixeira e Pereira, 1992; Zairi et al., 2003). Este programa pode ter várias aplicações relativas a um sistema cultura-solo-clima, como, por exemplo: estimar as necessidades hídricas de uma cultura; calendarização da rega, determinando a dotação a aplicar em cada rega, mas também o impacto dos calendários de rega na produção potencial e o caudal fictício contínuo; entre outras aplicações (Pereira et al., 2003).

Os dados de entrada do modelo (**Anexo IV**) que podem ser introduzidos diretamente no programa através de ficheiros de texto (*.txt) incluem: 1) dados meteorológicos: precipitação efetiva, P (mm), e evapotranspiração de referência, ET_o (mm), ou dados climáticos necessários ao cálculo da ET_o , utilizando o método FAO-PM; 2) dados de caracterização da cultura relativos às datas das fases do ciclo cultural, e respetivos coeficientes culturais médios (K_c), profundidade radicular Z_r (m), fração de esgotamento da água do solo em conforto hídrico (p), e o fator de resposta da cultura ao défice hídrico (K_y); 3) dados das características de retenção de água no solo relativos às múltiplas camadas do solo: profundidade de cada camada de solo (m), teor de água do solo à capacidade de campo θ_{FC} (mm mm^{-1}) e ao coeficiente de emurchecimento permanente θ_{WP} (mm mm^{-1}); 4) dados sobre as opções de rega, ficheiro que ajuda o utilizador a guardar as várias opções de simulação.

Quanto aos dados de saída do modelo este incluem: 1) calendário de rega e dotações líquidas; 2) ET_c e $ET_{c\ act}$; 3) caudal fictício contínuo.

Para iniciar a simulação é necessário ter o teor de água inicial do perfil do solo o qual é introduzido pelo utilizador ou é obtido através de estimativas depois de se simular um período sem cultura que se inicia na estação das chuvas quando se pode assumir que o solo se encontra à capacidade de campo (Rodrigues et al., 2003). No presente estudo utilizaram-se os dados do teor de água do perfil previamente determinados (ver Secção 3.3.3) os quais foram introduzidos no programa.

3.5.1 Necessidades de rega da cultura e caudal de ponta

Com recurso ao programa ISAREG é possível estimar as necessidades de rega anuais, assim como, determinar o caudal de ponta. A determinação do caudal de ponta no presente estudo tem como objetivo avaliar se o sistema de rega tem capacidade para responder às necessidades de rega do pomar nas condições mais desfavoráveis.

Deste modo, foi necessário inserir no programa uma série longa (1959 a 2008) de dados meteorológicos provenientes da estação do IPMA, localizada no Instituto Geofísico do Infante D. Luiz, em Lisboa. Relativamente aos dados do solo consideraram-se os descritos na Secção 3.3.3.

Em relação aos dados da cultura, em primeiro lugar é de mencionar que o cálculo do K_c potencial foi baseado na aproximação descrita por Pereira et al. (2021) a qual se baseia na determinação dos valores de K_c com base na altura das árvores (h) e na fração de cobertura do solo (f_c) pelo pomar, as quais foram medidas conforme indicado na Secção 3.2. De acordo com esse estudo os pomares de ameixeiras, de baixa densidade (fração de cobertura do solo $f_c \sim 0,40$) e com árvores que podem atingir uma altura de 3,0 metros, apresentam um valor potencial de K_c para o período médio que varia entre 0,60 e 0,65, enquanto o K_c para o período final varia de 0,45 a 0,50. Não obstante, o pomar estudado ter um f_c e h inferiores aos tabelados optou-se por adotar o valor de 0,60 e 0,45 respetivamente para o $K_{c \text{ mid}}$ e $K_{c \text{ end}}$. Esta escolha deve-se ao facto de se pretender avaliar se o sistema está bem dimensionado, ou seja, se terá capacidade de responder às necessidades de rega de ponta (mais elevadas) e, assim sendo, precisa-se de considerar a situação mais adversa/extrema que corresponde a escolher o K_c mais elevado de todo o pomar. Já para o $K_{c \text{ ini}}$ considerou-se o valor tabelado por Allen e Pereira (2009) para pomares de ameixeira de baixa densidade sendo o valor a assumir de 0,40. As datas do início das fases do ciclo foram as observadas em campo (**Quadro 3.1**, Secção 3.2). Estas datas foram estimadas com base nas variedades mais tardias, uma vez que vamos regar até colher todas as ameixas do pomar. No **Quadro 3.7** são apresentados os dados relativos à cultura e que foram introduzidos no ISAREG.

Os dados de solo utilizados na modelação são os apresentados no **Quadro 3.4**.

O esquema de rega adotado para o cálculo do caudal de ponta foi o mesmo utilizado na determinação das necessidades líquidas de rega anuais.

Para se determinar o caudal de ponta é preciso determinar as necessidades líquidas de rega para o período de ponta e, para tal, recorreu-se a uma série de 49 anos de dados climáticos. O programa calculou as necessidades líquidas da rega para a série de 1959-2008 e, ao mesmo tempo, ordenou-as segundo a probabilidade de não excedência (**Quadro 4.1**). Como se trata de

um pomar, seleciona-se o ano que corresponda a uma probabilidade de 90%, isto é, a cada 100 anos o sistema de rega não transportará água suficiente em 10 (**Quadro 4.1**). Com esta seleção já é possível estimar o caudal de ponta de projeto que, comparando com a avaliação feita ao sistema de rega, permitirá aferir se o sistema consegue responder às necessidades de rega.

Quadro 3.7 - Dados da cultura introduzidos no programa ISAREG.

Data	Estados fenológicos	Fases segundo a FAO	Fração facilmente utilizável, p (adm)	Profundidade das raízes (m)
16/02	Inchamento dos gomos	Início		
02/03	Crescimento vegetativo	Início do desenvolvimento		
05/03	Vingamento	Início do período intermédio	0,50	0,80
6/07	Maturação	Início do período final		
30/07	Colheita	-		

3.5.2 Avaliação do calendário de rega atual

O modelo foi utilizado adicionalmente para avaliar o calendário de rega praticado em 2021. Para tal foram coletados os dados climáticos diários provenientes da estação meteorológica do ISA. Outros dados utilizados na simulação são os presentes no **Quadro 3.7** e no **Quadro 3.4** que são relativos às características da cultura e do solo, respetivamente. O calendário de rega usado foi o aplicado ao pomar em 2021 e que se encontra no **Quadro 3.8**, tendo utilizado a seguinte equação para o cálculo da dotação de rega aplicada (mm).

$$Dotação\ de\ rega\ aplicada = \frac{n^{\circ}\ de\ gotejadores_{\text{árvore}} \times q \times T_r}{Compasso} \quad [12]$$

onde,

n° de gotejadores por árvore (adimensional);

q – caudal médio por gotejador ($l\ h^{-1}$);

T_r – Tempo de rega (horas);

Compasso em metros.

Quadro 3.8 - Calendário de rega aplicado no pomar das ameixeiras durante o ano de 2021.

Dia	Mês	Dotação	
		h	mm
30	3	5	3,54
09	4	2	1,42
16	4	5	3,54
18	4	5	3,54
25	4	5	3,54
02	5	5	3,54
08	5	5	3,54
16	5	5	3,54
21	5	5	3,54
25	5	5	3,54
29	5	5	3,54
01	6	4	2,83
05	6	4	2,83
08	6	4	2,83
12	6	4	2,83
15	6	4	2,83
19	6	3	2,12
22	6	4	2,83
26	6	5	3,54
29	6	5	3,54
03	7	5	3,54
06	7	5	3,54
10	7	5	3,54
13	7	5	3,54
20	7	5	3,54
24	7	5	3,54
27	7	5	3,54
31	7	5	3,54

3.6 Avaliação do dimensionamento hidráulico

Para se poder realizar a avaliação do desempenho do sistema de rega foi necessário, numa primeira fase, proceder à determinação das perdas de carga que ocorrem nas condutas, desde o cabeçal de rega até ao final das rampas seleccionadas para a avaliação do sistema de rega. Desta forma e, numa fase posterior, é possível confrontar os valores das pressões medidas no campo com os valores das pressões calculadas para o sistema de rega, com o objetivo de se tentar compreender se existe alguma perda de carga localizada que não é contabilizada e que pode resultar, por exemplo, de entupimentos ou fugas nas condutas cuja origem poderá estar relacionada com o desgaste do material da mesma, ou então, que resulta do uso incorreto das máquinas que acabam por danificar as condutas.

Assim, para se avaliar o dimensionamento hidráulico foi necessário recorrer às equações referidas na Secção 2.2.5.2.

Para determinar a pressão necessária no início de cada troço da rede de rega foi aplicado o teorema de Bernoulli. Este teorema aplica-se a um líquido ideal ao longo de qualquer linha de fluxo, indicando que, entre duas secções, se mantém constante o somatório da pressão potencial, pressão hidrostática e pressão dinâmica. Essa soma é designada por carga total. No caso de um fluido real uma fração desta carga total é transformada em outro tipo de energia durante o deslocamento de um fluido, sendo assim definido esta fração como “perda de carga” (Oliveira, 2011; Zitterell et al., 2014) assim a equação assume a forma:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + \Delta H_T \quad [13]$$

sendo:

z - Cota geométrica (m);

$\frac{p}{\gamma}$ - Altura piezométrica (m), sendo $\gamma = \rho g$;

$\frac{v^2}{2g}$ - Altura cinética (m);

ΔH_T - Perdas de carga totais (m) ocorrida entre as duas secções.

No cálculo das perdas de carga totais (ΔH_T , m) foi aplicado a equação [2] enquanto para a determinação da perda de carga contínua (H_c , m) recorreu-se à equação [1].

A perda de carga unitária (j , m/m) é definida como sendo a perda de energia por unidade de comprimento da conduta que pode ser calculada através de várias fórmulas, como por exemplo, a de Chézy ou a de Hazen-Williams. Neste caso, recorreu-se à equação de Scobbey que se encontra mencionada no **Quadro 2.1**, tendo sido usada a fórmula para tubagem de PE para um diâmetro (D), em mm, e o caudal (Q), em $m^3 s^{-1}$, ou seja, com um $K = 142219 \times 10^6$ (Equação [14]):

$$j = k \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad [14]$$

Como referido na Secção 2.2.5.2, no caso das rampas e porta-rampas, o cálculo da perda de carga contínua tem de se multiplicar por um fator de redução (fator de Christiansen, F). Neste trabalho, optou-se por recorrer à equação [4], tendo sido calculado, para as primeiras quatro rampas, um fator de redução $F = 0,389$, considerando-se $N = 20$ (saídas/gotejadores) e $m = 1,75$. Relativamente às restantes rampas, com $N = 24$ e $m = 1,75$ obteve-se um fator de redução F de 0,385.

Em relação ao cálculo do somatório das perdas de carga singulares ($\sum h_s$, m), por regra, como são várias as perdas de carga que o sistema apresenta, acaba por considerar-se que

corresponde a uma percentagem da perda de carga contínua entre 10 a 15% (Oliveira, 2011; Raposo, 1996). Neste caso, optou-se por 10% das perdas de cargas contínuas, para as perdas de carga na conduta principal e no porta-rampas. No caso das rampas avaliadas optou-se por 15%, dado o elevado número de saídas/gotejadores.

Apresentam-se no **Quadro 3.9** os principais dados utilizados para o dimensionamento hidráulico do sistema de rega.

Quadro 3.9 - Dados necessários para os cálculos do dimensionamento hidráulico.

Pressão registada na casa da rega (bar)	2,7
Desnível entre a casa da rega e a entrada do pomar (m)	11
Diâmetro externo da conduta principal/porta rampas (mm)	32
Espessura da conduta principal/porta rampas (mm)	2
Diâmetro externo das rampas (mm)	16,2
Espessura das rampas (mm)	1
Nº total de rampas	15
Nº de gotejadores por rampa nas quatro primeiras rampas	20
Nº de gotejadores por rampa nas restantes rampas	24
Nº de gotejadores no sector	344
Caudal do gotejador (q) (l h ⁻¹)	4,0
K (Fórmula de Scobbe) (PE) com diâmetro, em mm, e o caudal, em m ³ s ⁻¹	1,42x10 ¹¹
Fator de redução <i>F</i> para 20 gotejadores	0,389
Fator de redução <i>F</i> para 24 gotejadores	0,385

3.7 Avaliação do sistema de rega

A metodologia usada na avaliação do sistema de rega foi baseada em Gómez et al. (2010), Keller e Bliesner (1990) e Merriam e Keller (1978). Esta metodologia possibilita o cálculo dos indicadores do sistema de rega já descritos na Secção 2.2.6. Segundo estes autores, para se calcular a uniformidade de distribuição (UD) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (ver Secção 2.2.6) é preciso escolher um determinado número de gotejadores que se encontrem distribuídos, uniformemente, dentro do setor a avaliar para que seja representativo da instalação. Geralmente, é sugerido que sejam escolhidos um mínimo de 16 pontos de medição.

As rampas, a avaliar, devem localizar-se no início, a 1/3, a 2/3 e no final do setor. O mesmo critério deve ser aplicado na escolha das quatro posições de medição ao longo de cada

uma das rampas, ou seja, devemos escolher um ponto de medição no início, a 1/3, a 2/3 e no final de cada rampa avaliada (**Figura 23**).

Já em relação ao cálculo do coeficiente de uniformidade das pressões (CUP) é necessário proceder-se à medição das pressões no início e no final de cada rampa em avaliação.



Figura 23 - Esquema de localização das rampas e gotejadores sujeitos a avaliação (Google Earth, 2021).

No caso da avaliação do sistema de rega do pomar das ameixeiras necessitou-se de quatro copos de plástico para recolher a água nos pontos de medição, um funil e uma proveta de 250 ml para determinar a quantidade de água recolhida em cada ponto; de um manómetro de 4 bar, para a medição das pressões; papel e caneta, para registo dos valores e, por último, um cronómetro para cronometrar o tempo de medição do volume de água debitado nesse intervalo de tempo por cada gotejador (um minuto/gotejador) (**Figura 24**). Para o registo dos valores das medições efetuadas, recorreu-se às tabelas do formulário fornecido pelo COTR (Oliveira et al., 2003) (**Anexo V**).



Figura 24 - Material utilizado na avaliação do sistema de rega.

A avaliação ocorreu na rampa nº1 (início), na nº5 (a 1/3), na nº10 (a 2/3) e na nº15 (final) do setor das ameixeiras. Contudo, optou-se por realizar a medição dos caudais de todos os gotejadores das rampas, ou seja, foram avaliados 92 gotejadores, tendo sido recolhidos durante um minuto os volumes de água (**Figura 25**). Determinou-se o volume de água recolhido (proveta) e registou-se o valor obtido. Este procedimento foi aplicado a todos os gotejadores avaliados. Com estes dados foi determinado o caudal médio medido nos gotejadores (equação [16]) e o caudal médio no quartil mínimo (equação [18]), necessários para determinar o CUD. Assim, para se determinar o caudal médio medido nos gotejadores é necessário determinar, previamente, o volume médio recolhido dos gotejadores avaliados (V_{med} , em ml):

$$V_{med} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{recolhidos}}{N_{observações}} \quad [15]$$

com $V_{recolhidos}$, em ml.

Depois calcula-se o caudal médio medido nos gotejadores (q_{med} , em $l\ h^{-1}$):

$$q_{med} = \frac{V_{med} \times 60}{T_m \times 1000} \quad [16]$$

onde V_{med} é o volume médio recolhido dos gotejadores, em ml, e T_m é o tempo de medição, em minutos.

Já para se aferir o caudal médio no quartil mínimo (q_{min} , em $l\ h^{-1}$) é necessário determinar o volume médio recolhido no quartil inferior através da equação [17].

$$V_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{quartil\ mínimo}}{N_{observações}} \quad [17]$$

com $V_{quartil\ mínimo}$, em ml.

Por fim, o caudal no quartil mínimo (q_{min} , em $l\ h^{-1}$) é obtido através da seguinte forma:

$$q_{min} = \frac{V_{min} \times 60}{T_m \times 1000} \quad [18]$$

onde V_{min} é o volume médio recolhido no quartil inferior, em ml, e T_m é o tempo de medição, em minutos.



Figura 25 – Exemplo de recolha do volume de água do gotejador.

Em relação à medição das pressões, tanto à entrada como à saída de cada rampa avaliada, procedeu-se à remoção temporária do primeiro gotejador, com o objetivo de facilitar a medição da pressão através da utilização de um manómetro de 4 bar (**Figura 26**).



Figura 26 - Medição da pressão no início da rampa.

No final da avaliação, verificou-se que a distribuição dos gotejadores na rampa não é homogénea, ou seja, o espaçamento existente entre os dois gotejadores de cada árvore não é uniforme para todas as árvores (**Quadro 3.10**), assim como a distância entre o último gotejador de uma árvore e o primeiro gotejador da árvore seguinte também não é uniforme (**Anexo VI**). Assim, o uso da metodologia de Merriam e Keller (1978) não é a mais indicada para determinar a uniformidade de distribuição, porque, para tal, a distribuição dos gotejadores nas rampas deveria ser homogénea. Deste modo, quando nos deparamos com situações destas, poderá ser mais indicado realizar a avaliação do sistema tendo presente a metodologia sugerida por Pizarro (1996), que considera que se deve observar os caudais relacionados com as árvores e não com

os emissores, pelo que se considerou a soma dos volumes recolhidos nos dois gotejadores pertencentes a cada árvore presente nas linhas avaliadas (**Quadro 4.6**).

No decorrer da avaliação foram observadas e anotadas todas as anomalias presentes no sistema, incluindo fugas nas condutas e entupimento dos emissores.

Quadro 3.10 - Distância (m) entre os dois gotejadores de cada árvore localizada nas rampas avaliadas.

Localização da rampa no porta- rampas	Árvore												
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a	11 ^a	12 ^a	
1^a Linha (inicial)	0,32	0,36	0,35	0,37	0,40	0,41	0,33	0,47	0,52	0,61			
5^a Linha (a 1/3)	0,33	0,32	0,35	0,35	0,35	0,32	0,34	0,30	0,43	0,54	0,54	0,48	
10^a Linha (a 2/3)	0,41	0,38	0,29	0,29	0,33	0,37	0,32	0,32	0,32	0,35	0,33	0,28	
15^a Linha (final)	0,38	0,34	0,40	0,40	0,32	0,41	0,36	0,36	0,52	0,39	0,35	0,33	

4 Resultados e discussão

4.1 Necessidades de rega e caudal de ponta

Como foi abordado na Secção 3.5.1, o uso do programa ISAREG para o cálculo das necessidades de rega e do caudal de ponta para a série entre 1959-2008, originou os resultados apresentados no **Quadro 4.1**.

Quadro 4.1- Análise frequencial do caudal de ponta ($l\ s^{-1}\ ha^{-1}$ e em $mm\ dia^{-1}$) e das necessidades líquidas de rega anuais (mm).

Frequência (%)	Caudal de ponta		Necessidades líquidas de rega anuais
	($L\ s^{-1}\ ha^{-1}$)	(mm/dia)	(mm)
2,0	0,17	1,5	72,00
3,9	0,27	2,3	82,00
5,9	0,28	2,4	83,00
7,8	0,28	2,4	108,00
9,8	0,31	2,7	131,00
11,8	0,32	2,8	139,00
13,7	0,32	2,8	147,00
15,7	0,32	2,8	155,00
17,6	0,32	2,8	156,00
19,6	0,32	2,8	156,00
21,6	0,34	2,9	159,00
23,5	0,34	2,9	160,00
25,5	0,35	3,0	163,00
27,5	0,35	3,0	170,00
29,4	0,35	3,0	171,00
31,4	0,35	3,0	172,00
33,3	0,36	3,1	175,00
35,3	0,36	3,1	179,00
37,3	0,36	3,1	185,00
39,2	0,36	3,1	189,00
41,2	0,36	3,1	190,00
43,1	0,36	3,1	193,00
45,1	0,37	3,2	195,00
47,1	0,37	3,2	195,00
49,0	0,37	3,2	199,00
51,0	0,37	3,2	201,00
52,9	0,37	3,2	204,00
54,9	0,37	3,2	204,00
56,9	0,38	3,3	206,00
58,8	0,38	3,3	210,00
60,8	0,38	3,3	211,00
62,7	0,38	3,3	213,00
64,7	0,38	3,3	215,00
66,7	0,39	3,4	219,00
68,6	0,39	3,4	219,00
70,6	0,39	3,4	223,00
72,5	0,39	3,4	226,00
74,5	0,39	3,4	229,00
76,5	0,39	3,4	239,00
78,4	0,39	3,4	244,00
80,4	0,39	3,4	245,00
82,4	0,41	3,5	247,00
84,3	0,41	3,5	248,00
86,3	0,42	3,6	257,00
88,2	0,42	3,6	263,00
90,2	0,42	3,6	268,00
92,2	0,43	3,7	277,00
94,1	0,43	3,7	278,00
96,1	0,43	3,7	295,00
98,0	0,44	3,8	331,00

Analisando o **Quadro 4.1** verifica-se que as necessidades líquidas de rega da cultura da ameixeira, correspondentes a uma probabilidade de não excedência de 90% (marcado a vermelho), são de $3,6\ mm\ d^{-1}$ ($0,42\ l\ s^{-1}$). No **Quadro 4.1** encontram-se expostos os valores

calculados pelo ISAREG das necessidades líquidas de rega e do caudal de projeto para o mês de ponta (série de 1959 a 2008), para o pomar das ameixeiras. Utilizando o calendário de rega existente (cinco horas por dia – rega dois dias por semana, durante o mês de ponta) (**Quadro 3.8**) e através da avaliação efetuada ao sistema consegue-se verificar que o sistema possui capacidade para fazer fase à necessidade de rega do pomar (3,6 mm d⁻¹), uma vez que o sistema tem a capacidade de fornecer 3,54 mm d⁻¹ (equação [12]) (**Quadro 4.2**). Assim, pode-se afirmar que o sistema está bem dimensionado, uma vez que consegue suprir as necessidades de ponta da cultura, correspondendo a uma probabilidade de não excedência de 85%.

Quadro 4.2 - Determinação da dotação de rega que o sistema consegue satisfazer durante o mês de julho de 2021, tendo por base os resultados da avaliação efetuada ao sistema.

Caudal aplicado por árvore (l h ⁻¹)	10,62
Tempo de rega por dia (h)	5
Dotação de rega (mm d ⁻¹)	3,54

4.2 Simulação hidráulica

No **Quadro 4.3** encontram-se os comprimentos (L), caudais (Q), diâmetros internos ($\phi_{int.}$) e velocidades de escoamento (v) relativas a cada uma das rampas avaliadas, ao porta-rampas e à conduta principal, juntamente com os respetivos valores calculados das perdas de carga unitárias (j), contínuas (H_c), localizadas (h_s) e totais (ΔH_T). Verifica-se que, na conduta principal, a água escoava com uma velocidade de 0,621 m s⁻¹, estando dentro dos limites dos valores admitidos para a velocidade de escoamento ($0,5 < v < 1,5$ m s⁻¹), contudo o ideal seria que a velocidade fosse aproximadamente de 1,5 m s⁻¹, uma vez que é o valor que se considera mais económico (ver Secção 2.2.5.2). Já no caso das rampas, as velocidades também são bastante baixas (inferiores a 0,5 m s⁻¹) o que propicia a acumulação de impurezas no interior das condutas, mas é algo que acaba por não se verificar dado que é feita a abertura das rampas pelo menos uma vez em cada campanha de rega, o que permite a limpeza dos sedimentos.

Quadro 4.3 - Perdas de carga em cada conduta do sistema de rega avaliado.

Conduta	Troço	L (m)	Q (l h ⁻¹)	Ø _{int.} (mm)	v (m s ⁻¹)	j (m m ⁻¹)	H _c (m)	h _s (m)	ΔH _T (m)
Principal		175	1376	28	0,621	0,020	3,476	0,348	3,823
1ª Rampa		30	80	14,2	0,140	0,003	0,040	0,006	0,046
Porta-rampas	1-2	5	1296	28	0,585	0,018	0,089	0,004	0,094
	2-3	5	1216	28	0,549	0,016	0,080	0,004	0,084
	3-4	5	1136	28	0,512	0,014	0,071	0,004	0,075
	4-5	5	1056	28	0,476	0,012	0,062	0,003	0,066
5ª Rampa		36	96	14,2	0,168	0,003	0,048	0,007	0,055
Porta-rampas	5-6	5	960	28	0,433	0,011	0,053	0,003	0,056
	6-7	5	864	28	0,390	0,009	0,044	0,002	0,046
	7-8	5	768	28	0,346	0,007	0,036	0,002	0,038
	8-9	5	672	28	0,303	0,006	0,028	0,001	0,030
	9-10	5	576	28	0,260	0,004	0,022	0,001	0,023
10ª Rampa		36	96	14,2	0,168	0,005	0,066	0,010	0,075
Porta-rampas	10-11	5	480	28	0,217	0,003	0,016	0,001	0,017
	11-12	5	384	28	0,173	0,002	0,011	0,001	0,011
	12-13	5	288	28	0,130	0,001	0,006	3,22E ⁻⁴	0,007
	13-14	5	192	28	0,087	0,001	0,003	1,58E ⁻⁴	0,003
	14-15	5	96	28	0,043	1,88E ⁻⁴	0,001	4,70E ⁻⁵	0,001
15ª Rampa		36	96	14,2	0,168	0,005	0,066	0,010	0,076

No **Quadro 4.4** é apresentada a variação de cota de cada conduta (Δz) e os resultados relativos às pressões simuladas (P_{simulada}) assim como as pressões observadas no campo ($P_{\text{observada}}$), tanto à entrada como à saída das quatro rampas avaliadas.

Quadro 4.4 - Pressões presentes à entrada e saída das condutas do pomar das ameixeiras.

Conduta	Δz (m)	P _{simulada} (bar)		P _{observada} (bar)		P _{observada} - P _{simulada} (bar)	
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
Principal	11,0	2,50	-	-	-	-	-
Porta – rampas	2,0	3,22	-	-	-	-	-
1ª Rampa	2,0	3,22	4,41	3,20	3,50	0,02	0,09
5ª Rampa	2,0	3,19	3,38	3,20	3,40	0,01	0,02
10ª Rampa	3,0	3,17	3,46	3,20	3,40	0,03	0,06
15ª Rampa	3,0	3,16	3,46	3,20	3,50	0,04	0,04

É ainda possível verificar que os valores das pressões são semelhantes. Em relação ao declive este foi aproveitado em todas as condutas, uma vez que desde que a água saí da casa da rega até chegar ao último gotejador do sistema de rega (ponto mais desfavorável do sistema) o declive é sempre positivo (**Quadro 4.4**). As pequenas variações entre as pressões calculadas e medidas podem resultar de não se conhecer com precisão as cotas a que se encontra a casa de rega e o pomar das ameixeiras, ou, ainda, devido aos valores assumidos para as perdas de carga parciais e totais (Secção 3.6).

4.3 Avaliação do sistema de rega: indicadores de desempenho

Os volumes recolhidos nos gotejadores avaliados podem ser observados no **Quadro 4.5**.

Quadro 4.5 - Registo dos volumes (ml) debitados pelos gotejadores durante um minuto.

Localização do gotejador na rampa (Medições)	Localização da rampa no porta-rampas			
	1ª Rampa (inicial)	5ª Rampa (a 1/3)	10ª Rampa (a 2/3)	15ª Rampa (final)
Gotejador n°1	116	70	70	86
Gotejador n°2	118	70	76	80
Gotejador n°3	120	70	76	70
Gotejador n°4	106	118	72	112
Gotejador n°5	124	74	70	74
Gotejador n°6	120	70	74	72
Gotejador n°7	122	102	84	70
Gotejador n°8	120	70	72	74
Gotejador n°9	132	104	74	70
Gotejador n°10	120	96	74	114
Gotejador n°11	122	110	74	0
Gotejador n°12	124	108	104	80
Gotejador n°13	110	72	74	110
Gotejador n°14	122	72	72	100
Gotejador n°15	106	110	72	70
Gotejador n°16	104	110	76	76
Gotejador n°17	120	106	78	32
Gotejador n°18	120	114	90	94
Gotejador n°19	110	112	72	106
Gotejador n°20	118	112	74	0
Gotejador n°21		114	80	0
Gotejador n°22		114	70	0
Gotejador n°23		74	76	58
Gotejador n°24		112	70	130
Média	117,70 (±6,91)	95,17 (±18,97)	76,00 (±7,39)	69,72 (±37,30)

No **Quadro 4.6** são apresentados os volumes debitados por árvore, ou seja, corresponde à soma dos dois gotejadores de cada árvore.

Quadro 4.6 - Medição do volume debitado em cada árvore (ml), durante um minuto.

Localização da rampa no porta-rampas	Árvore											
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª
1ª Rampa (inicial)	234	226	244	242	252	246	232	210	240	228		
5ª Rampa (a 1/3)	140	188	144	172	200	218	144	220	220	224	228	186
10ª Rampa (a 2/3)	146	148	144	156	148	178	146	148	168	146	150	146
15ª Rampa (final)	166	182	146	144	184	80	210	146	126	106	0	188

No **Quadro 4.7** encontram-se os resultados relativos ao volume médio aplicado por árvore em cada rega assim como o valor da dotação aplicada ao pomar de ameixeiras no dia da avaliação do sistema de rega.

Quadro 4.7 - Volume médio aplicado por árvore e a dotação aplicada em cada rega.

Volume médio aplicado por árvore em cada rega (l)	53,09
Dotação de rega aplicada (mm)	3,54

Analisando os volumes recolhidos (**Quadro 4.5**) verifica-se que, na 1ª rampa, os caudais variam entre 106 e 132 ml min⁻¹ (6,4 - 7,9 l h⁻¹) o que é muito acima do valor do caudal de catálogo de 66,7 ml min⁻¹ (4 l h⁻¹, Secção 3.4.4). Na segunda rampa avaliada, 5ª linha do pomar, não foram encontradas quaisquer fugas ou gotejadores danificados; contudo, a média do volume de água debitado pelos gotejadores no intervalo de tempo do ensaio foi de 95,2 ml, valor superior à média pretendida de 66,7 ml. Nesta rampa os caudais variaram entre 72 e 114 ml min⁻¹ (4,3 - 6,84 l h⁻¹). Já os resultados relativos à terceira rampa avaliada (10ª linha do pomar) permitem verificar que é a rampa que apresenta uma maior uniformidade dos caudais debitados, com uma média de débito por gotejador de 76 ml min⁻¹ ($\pm 7,39$), um valor próximo de 10 ml min⁻¹ superior ao débito desejado. Nesta rampa, junto ao gotejador nº9, foi detetada uma fuga na rampa, originando a saída de água na forma de um pequeno jato (**Figura 27**) o que resulta numa diminuição de pressão (**Quadro 4.4**).



Figura 27 -Furo no tubo de uma das rampas do pomar.

A rampa mais distante da tomada de água, 15ª linha do pomar, é onde se identifica o maior número de problemas ao nível dos emissores. Logo no início da rampa, os dois primeiros encontram-se sem bico, provocando a saída da água sob a forma de esguicho (**Figura 28**) o que tem impacto no volume de água recolhido (**Quadro 4.5**).



Figura 28 - Emissores danificados presentes no pomar avaliado.

Ao longo desta rampa (15ª linha), também foi detetada a presença de gotejadores totalmente entupidos e que por isso não ocorreu débito de água, como, por exemplo, o gotejador nº 20 (**Figura 29**) e os gotejadores nº 21 e 22 (**Quadro 4.5**). No caso destes dois últimos é preciso salientar que são dois gotejadores que fornecem água a uma mesma árvore (árvore nº 11), pelo que, estando entupidos, esta não recebe água. Na última árvore da rampa ainda foi detetado um gotejador danificado/mal instalado (**Figura 31b**) originando a ocorrência de uma fuga de água. Nesta rampa foi debitado, em média, $69,9 \text{ ml min}^{-1}$ ($\pm 37,3$) de água por gotejador, um valor que, apesar de ser o mais baixo das quatro rampas avaliadas, continua acima dos $66,7 \text{ ml}$ de volume de água debitada por gotejador que se pretende ter. Por fim, ao longo desta rampa, os gotejadores debitaram entre 0 e 130 ml min^{-1} ($0 - 7,8 \text{ l h}^{-1}$) (**Quadro 4.5**). Assim, verificou-se que, a quase totalidade dos emissores encontram-se a debitar um caudal superior ao indicado pelo fabricante que é de $4,0 \text{ l h}^{-1}$. Tal deve-se a que os gotejadores se encontram em más condições de funcionamento tendo perdido a capacidade de auto-compensação da pressão. A exceção é o gotejador 17 na linha 15 o qual se encontra entupido.

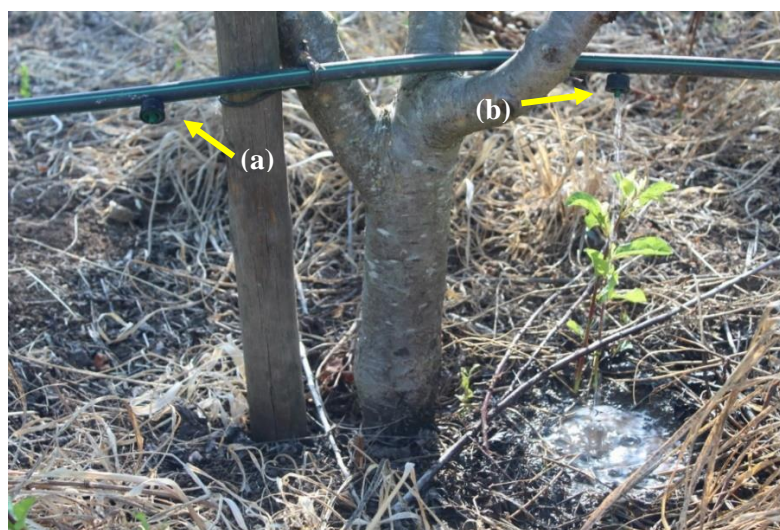


Figura 29 - Exemplo de uma situação de entupimento do emissor do sistema de rega do pomar (a) e um exemplo de formação de uma poça de água devido ao elevado débito do gotejador (b).

Os entupimentos dos gotejadores identificados durante a avaliação do sistema de rega podem resultar da fertirrega, mas também da própria água da rega, isto porque, sendo esta proveniente de um furo cuja zona de captação se situa num maciço rochoso calcário, ela é alcalina ($\text{pH} \approx 8,0$) (**Anexo VII**), pelo que a probabilidade de ocorrência da precipitação do calcário é maior, não obstante a utilização de um doseador que permite de aplicação de ácido para a correção do pH (Secção 3.4.2).

Já relativamente ao excesso de débito dos gotejadores avaliados, a verificação efetuada permite concluir que estes se encontram com elevado desgaste o que provocou alteração das características dos emissores. Assim, será necessário proceder à sua troca, para que o caudal médio diminua dos atuais $5,3 \text{ l h}^{-1}$ (**Quadro 4.8**) para $4,0 \text{ l h}^{-1}$. Esta correção permitirá além de uma distribuição homogénea de água e conseqüente homogeneização da produção, uma poupança de água de rega de 32,8%.

Os resultados dos indicadores de desempenho do sistema de rega previamente selecionados, coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (equação [6]) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (equação [7]), são apresentados no **Quadro 4.8**, tendo sido calculados de acordo com a metodologia de Merriam e Keller (1978) em que os gotejadores são considerados de forma isolada. No **Quadro 4.9** encontram-se os resultados obtidos pela avaliação do desempenho do sistema de rega, através da metodologia de Pizarro (1996), em que são considerados os emissores que estão associados a cada árvore. De acordo com este último quadro (**Quadro 4.9**) o sistema de rega apresenta um CUD de 69,0% e um CUC de 80,5% o que indica que o sistema de rega possui uma uniformidade satisfatória (**Quadro 2.2**), ou seja, demonstram a existência de uma má distribuição da água nas zonas regadas.

Verifica-se que o caudal médio obtido por gotejador durante a avaliação, $5,3 \text{ l h}^{-1}$ (**Quadro 4.8**) encontra-se elevado em relação ao caudal de catálogo, $4,0 \text{ l h}^{-1}$.

Quadro 4.8 – Resultados dos indicadores de desempenho da avaliação ao sistema de rega do pomar das ameixeiras, segundo a metodologia de Merriam e Keller (1978).

Volume médio (ml)	88,5
Caudal médio (l h^{-1})	5,3
Volume quartil mínimo (ml)	56
Caudal médio no quartil inferior (l h^{-1})	3,4
Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (%)	63,3
Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (%)	76,9

Quadro 4.9 - Resultados dos indicadores de desempenho da avaliação ao sistema de rega do pomar das ameixeiras, segundo a metodologia de Pizarro (1996).

Volume médio (ml)	177,0
Caudal médio (l h ⁻¹)	10,6
Volume quartil mínimo (ml)	122,2
Caudal médio no quartil inferior (l h ⁻¹)	7,3
Coefficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (%)	69,0
Coefficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) (%)	80,5

Mesmo optando-se pelo uso da metodologia sugerida por Merriam e Keller (1998), em vez da sugerida por Pizarro (1996), não existiriam alterações substanciais nos resultados obtidos na avaliação efetuada, uma vez que os indicadores de desempenho não apresentam variações significativas entre as duas metodologias, como se pode observar através da comparação entre os dados constantes no **Quadro 4.8** e no **Quadro 4.9**.

Esta falta de uniformidade do sistema de rega está diretamente relacionada com a existência de gotejadores danificados, entupidos, ou, simplesmente, mal instalados. Os resultados obtidos são inferiores aos reportados por Melo (2021) para o sistema de rega do pomar de citrinos do ISA, o qual se localiza no terreno imediatamente acima do pomar de ameixeiras. Nesse caso de estudo e não obstante os gotejadores não serem autocompensantes o sistema tem uma uniformidade classificada como “boa” a qual passará a “excelente” caso se dê a substituição do pequeno número de emissores danificados. Contudo, os baixos níveis de uniformidade poderão não resultar apenas da existência de gotejadores que apresentem problemas no seu funcionamento porque, tal como é relatado por Pimenta (2021), a baixa uniformidade pode resultar da existência de entupimentos ou fugas nas condutas principal e secundária. Nesse trabalho foi avaliado o sistema de rega da vinha do ISA onde se constatou que o sistema de rega se encontrava com uma baixa uniformidade porque foram efetuadas obras de requalificação das estradas da Tapada e a máquina cortou a conduta, levando à entrada de partículas grosseiras para o interior do sistema acabando por o obstruí-lo e, deste modo, condicionar a rega.

Os resultados a que se chegou nesta avaliação ao sistema de rega do pomar das ameixeiras refletem alguns erros cometidos durante a instalação das rampas, mas também o mau estado em que estas se encontram atualmente e que resultam de falta de manutenção do sistema de rega, algo que será aprofundado mais à frente. O que tem ajudado a atenuar esta falta de uniformidade é o facto de o pomar encontrar-se instalado num solo argiloso, uma vez que, este tipo de solos possuem uma maior capacidade de expansão lateral do bolbo húmido, isto é, a água desloca-se mais na horizontal, permitindo, assim uma maior retenção da água comparativamente com solos

arenosos, ou seja, este solo permite que a água se distribua numa maior área de solo diminuindo a percolação profunda (Li et al., 2004; Pizarro, 1996).

Relativamente ao estado atual do sistema de rega, é de referir que a grande maioria das rampas não se encontram instaladas corretamente, ou seja, não se encontram paralelas ao solo (**Figura 30**), assim como, os gotejadores não se encontram uniformemente distribuídos ao longo das rampas, isto é, não apresentam uma distância uniforme entre o gotejador e o tronco da árvore a regar, o que acaba por influenciar de forma direta e negativa a uniformidade de distribuição ao longo das rampas durante a vida útil do sistema de rega.



Figura 30 - Exemplo da disposição da rampa junto de uma árvore do pomar.

Com a avaliação do sistema, também foi possível constatar outros problemas como, por exemplo, gotejadores entupidos, danificados ou partidos, assim como rampas furadas. Outra situação identificada foi a existência de gotejadores que debitam água a uma taxa superior à capacidade de infiltração do solo, com a consequente formação de poças de água à superfície do solo (**Figura 29**). Este excesso de água debitada pelos gotejadores pode levar à podridão das raízes das árvores ou a problemas fitossanitários ao nível do aparecimento de fungos, os quais podem causar a morte das árvores, o que poderá eventualmente ter contribuído para a morte de 48 árvores, o que representa cerca de 28% do pomar. É igualmente de mencionar que existem gotejadores completamente encostados ao tronco da árvore (**Figura 31**), o que a médio/longo prazo pode levar ao apodrecimento do tronco da árvore. Ao longo do pomar é possível encontrar ainda outras situações de falta de manutenção, como, por exemplo, ausência de cortes de rebentos, tal como se ilustra na **Figura 32**.



Figura 31 - Duas situações onde o gotejador se encontra junto do tronco da árvore.



Figura 32 - Exemplo de falta de manutenção do pomar.

4.4 Avaliação do calendário de rega do ano de 2021

Na **Figura 33** encontra-se o balanço hídrico do solo gerado pelo programa ISAREG. Através dele verifica-se que o calendário de rega atual se encontra bem ajustado às necessidades da cultura. Verificou-se que ocorreu 71,2 mm de percolação resultantes da precipitação e 39,7 mm de volume perdido por excesso de água na rega. O volume anual de rega aplicado neste pomar foi de 332,3 mm, com uma eficiência de rega de 88,1%. Verifica-se que a humidade do solo desce abaixo da LRFU entre a 2ª metade de março até meio de abril, ocorrendo stress hídrico. Tal como foi abordado na Secção 2.5, a linha CC corresponde ao teor de água do solo à capacidade de campo e a LRFU corresponde ao limite da reserva facilmente utilizável.



Figura 33 - Balanço hídrico gerado pelo programa ISAREG para o ano de 2021.

Da análise do balanço hídrico do solo (**Figura 33**), é possível concluir que o calendário de rega aplicado no ano de 2021, entre março e finais de julho satisfaz as necessidades hídricas da cultura. É de salientar que o acompanhamento do sistema de rega foi feita até ao fim da colheita das ameixas, mas como se trata de uma cultura frutícola é necessário continuar a regar com o objetivo de permitir à cultura proceder ao armazenamento de reservas para o ano seguinte, o que é fundamental para se obter um bom vigor das árvores. É de destacar que os pequenos picos com maior expressão (três em abril, dois em maio e um em julho) existentes no gráfico, e que ultrapassam a linha da CC, ocorreram porque foi necessário fazer fertirrega.

5 Sugestão de boas práticas que devem ser aplicadas antes e durante a época de rega

Encontrando-se o sistema de rega bem dimensionado e bem instalado, deve-se proceder à realização de tarefas para que se tenha uma rega eficiente e uniforme. Para tal, antes do início de capa campanha de rega, deverão ser verificados os filtros e deve-se proceder à sua limpeza. Deve fazer-se de seguida uma vistoria a todas as rampas de modo a verificar possíveis ocorrências de fugas ou obstruções assim como entupimentos dos emissores.

Durante a época de rega, deve-se proceder a uma avaliação visual do sistema, ou seja, devemos proceder a inspeções durante as passagens que se vá fazendo pelo pomar com o objetivo de verificar se o sistema continua a funcionar corretamente ou se, ocorreram entupimentos ou danos nas condutas ou nos gotejadores, por exemplo. Para além disto,

regularmente, deve-se abrir o final das rampas durante uns breves instantes para que ocorra a limpeza do interior das rampas evitando que ocorra entupimentos das mesmas.

6 Conclusões e recomendações

O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação ao sistema de rega localizada do pomar das ameixeiras pertencente ao ISA. A avaliação permitiu, não só, verificar o estado em que o sistema se encontra, como, também, avaliar o dimensionamento do projeto de rega para apurar se as necessidades de rega de ponta da cultura podem ser satisfeitas pelo sistema de rega instalado.

Foi, assim, possível identificar vários constrangimentos, quer ao nível da falta de manutenção do sistema de rega, como é o caso da presença de gotejadores partidos e danificados, como ao nível do dimensionamento do projeto de rega, nomeadamente, a presença de gotejadores de diferentes modelos e a falta de distribuição homogénea das distâncias entres os gotejadores e o tronco da árvore. A avaliação dos indicadores de desempenho veio confirmar que a água da rega não está a ser distribuída de forma uniforme pelo pomar nem nas quantidades adequadas a uma boa gestão da rega do pomar.

Desta forma, recomenda-se a substituição das rampas por novas com as mesmas características (diâmetro e comprimento), mas com um espaçamento uniforme entre emissores e que sejam instaladas a uma altura do solo constante de forma a evitar a formação de catenárias.

Em relação aos gotejadores, estes devem ser substituídos por outros iguais aos atuais mas a distância entre gotejadores na rampa deve ser tal que os dois gotejadores por árvore estejam a uma distância de cerca de um metro do tronco da árvore, por exemplo.

De modo, a tornar cada vez mais eficiente o uso de água na rega das culturas, e face à experiência obtida com o presente diagnóstico do sistema de rega, considera-se que deveriam ser feitas demonstrações aos agricultores com o objetivo de lhes evidenciar os benefícios que as avaliações periódicas dos seus sistemas de rega localizada lhes podem trazer. Estas sessões de divulgação são importantes porque as avaliações dos sistemas de rega são só obrigatórias para os agricultores e empresas agrícolas que aderiram à medida 7.5 do uso eficiente da água, do PDR 2020 (DGADR, 2021) e, como a água é cada vez um bem mais escasso é necessário otimizar o seu uso, ou seja, tem-se que reduzir o consumo de água sem prejudicar a produção.

7 Referências bibliográficas

- AgroGes. (2020). Plano de Gestão Florestal: Tapada da Ajuda. AgroGes, Lisboa.
- Allen, R. G., Pereira, L. S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* 28, 17-34. doi: 10.1007/s00271-009-0182-z
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Howell, T. A., Jensen, M. E. (2011). Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management* 98 (6), 899-920. doi:10.1016/j.agwat.2010.12.015
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Itália, Roma: FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/3/X0490E/X0490E00.htm> [Acedido em dezembro 19, 2021]
- António, A. C. (2018). Avaliação da programação da rega e do desempenho do sistema de rega num pomar de pessegueiros. Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior Agrária, Bragança.
- Aquamatic. (2019). Lista de preços 2018. Disponível em: https://aquamatic.pt/Aquamatic_Lista_precos_2019_internet.pdf [Acedido em junho 23, 2021]
- ARADGROUP. (2020a). MS – Multi-Jet Magnetic Water Meter. Disponível em: <https://arad.co.il/products/residential/ms-multi-jet-magnetic-water-meter/> [Acedido em junho 12, 2021]
- ARADGROUP. (2020b). SF – Polymeric Fertilizer Meter. Disponível em: <https://arad.co.il/products/agriculture/sf-fertilizer-meter/> [Acedido em junho 14, 2021].
- Arshad, I. (2020). Importance of Drip Irrigation System Installation and Management-A Review. *Psm biological research*, 5(1), 22-29.
- ASAE. (2004). Design and installation of microirrigation systems. ASAE Standards Engineering Practices Data, St Joseph, USA, ASAE, pp. 992-928
- Baggiolini, M. (1952). Les stades reperes dans le developpement anual de la vigne. *Revue Romande d'Agriculture, de Viticulture et d'Arboriculture*, Lausanne, v. 8, 4-6.
- Boman, B. J. (1995). Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. *Applied Engineering in Agriculture*, 11(6): 839-843
- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *American Physical Society*. 27, 779-787. doi: 10.1103/PhysRev.27.779

- Bralts, V. F., Wu, I. P., Gitlin, H. M. (1981). Manufacturing variation and drip uniformity. *Trans. Of ASAE*. 24(1): 113-119. doi: 10.13031/2013.34209
- Bralts, V. F., Wu, I. P., Gitlin, H. M. (1982). Emitter plugging and drip irrigation lateral line hydraulics. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, 25(5): 1274-1281. doi: 10.13031/2013.33712
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, L. A., Howell, T. A., Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Agricultural Engineering Research. ASCE* 123: 423-442
- Burt, C. M., Clemmens, A. J., Strelkot, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, L. A., Howell, T. A., Eisenhauer, D. E. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 123: 423-442. doi: 10.1101/2020.06.22.20137273
- Cammalleri, C., Rallo, G., Agnese, C., Ciralo, G., Minacapilli, M., Provenzano, G. (2013). Combined use of eddy covariance and sap flow techniques for partition of ET fluxes and water stress assessment in an irrigated olive orchard. *Agricultural Water Management*. 120, 89-97. doi: 10.1016/j.agwat.2012.10.003
- Capra, A., Scicolone, B. (1998). Water quality and distribution in drip/trickle irrigation systems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70(4): 355-365: doi:10.1006/jaer.1998.0287
- Cardoso, J. C. (1974). A Classificação dos Solos de Portugal - nova versão. *Boletim de Solos do S.R.O.A.*, 17: 14 - 46
- Christiansen, J. F. (1942). *Irrigation by Sprinkling*. California Agriculture Experiment Station Bulletin. 670. University of California, Berkeley. 124p.
- DGADR. (2021). Ação 7.5 - Uso eficiente da água. Disponível em: <https://www.dgadr.gov.pt/rec/acao-7-5-uso-eficiente-da-agua> [Acedido em novembro 30, 2021]
- Dorot. (2021). Solenoid Valves. Disponível em: <https://www.dorot.com/products-solutions/hydraulic-control-valves/solenoid-valves-dorot-range/dorot-solenoid-valves-range> [Acedido em julho 13, 2021]
- Dukes, M. D. (s/d). Irrigation Efficiency and Uniformity. Agricultural & Biological Engineering Department. University of Florida. In: Oliveira, I. (2011). *Técnicas de regadio: Teoria e Prática*. Volume I (2ª ed.). Beja: Rolo & Filhos, SA. 1766p.
- Evans, R., Wu, I.-P., Smajstrala, A. G. (2013). Microirrigation Systems. In G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, R.L. Elliot (eds.) *Design and Operation of Farm*

- Irrigation Systems, (2^a ed.). American Society of Agricultural and Biological Engineers, 633-683
- Falloon, P., Betts, R. (2009). Climate impacts on European agriculture and water management in the context of adaptation and mitigation —The importance of an integrated approach, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 5667–5687
- Fandiño, M., Cancela, J. J., Rey, B. J., Martínez, E. M., Rosa, R. G., Pereira, L. S. (2012). Using the dual-Kc approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agricultural Water Management* 112, 75–87
- Fernando, R. M. (1998). Balanço hídrico do solo. DER/ISA, Lisboa
- Fina, E. Z. (2018). Necessidades de rega e avaliação do desempenho do sistema de rega do Perímetro Irrigado do Mucoso (Angola). Instituto Politécnico de Bragança – Escola Superior Agrária, Bragança.
- Fleming, B. (2012). A importância de um bom projeto no sistema de rega agrícola. *Agrotec - revista técnico-científica agrícola*, 5. Disponível em: https://digitalisdsp.uc.pt/bitstream/10316.2/25430/1/Pequenosfrutos_1_artigo12.pdf [Acedido em dezembro 15, 2020]
- Gómez, R. F., Morillo, M. C. Y., Milla, M. M., Bernal, J. P. G., Gutiérrez, N. A. O., Alabarces, R. A., Zafra, P. G. (2010). Manual de Riego para Agricultores Módulo 4: Riego Localizado. Junta de Andalucía, IIFAP-CAP, Secretaría General Técnica, 154 p.
- Heermann, D. F., Solomon, K. H. (2007). Efficiency and Uniformity. In: Hoffman, G. J, Evans, R. G., Jensen, M. E., Martin, D. L., Elliot, R. L. (Eds.), *Design and Operation of Farm Irrigation Systems* (p. 108–119). St. Joseph, MI, USA: ASABE.
- INE. (2021). Estatísticas Agrícolas - 2020. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=437147278&PUBLICACOESmodo=2 [Acedido em janeiro 17, 2022]
- INIAV. (2021). Colheita de amostras não perturbadas de solo (estado natural). Em: Normas de colheita de amostras, Mod.LQARS-086/1 (05.2021), Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, 4p. Disponível em: https://www.iniaiv.pt/images/Servicos-Laboratoriais/solos-nutricao-vegetal-fertilizantes/colheita-amostras/Mod-LQARS086_Colheita-amostras-nao-perturbadas-solo_vs26-05-2021.pdf [Acedido em janeiro 5, 2021]
- Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. (2010). Response of plum trees to deficit irrigation under two crop levels: tree growth, yield and fruit quality. *Irrigation Science* 28 (6), 525-534.

doi:10.1007/s00271-010-0212-x

- Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. (2012). Plum. In: Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., Raes, D. (Eds.), *Crop Yield Response to Water*. FAO Irrigation and Drainage Paper No 66. FAO, Roma, 348-355.
- IPMA. (2022). Normais Climatológicas - 1981- 2010. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/normalclimate8110.jsp> [Acedido em fevereiro 26, 2022].
- Irritec. (2019). Drip Irrigation. Disponível em: https://www.irritec.com/Documents/Catalogues%20and%20Price%20Lists/Catalogues/EN/DRIP_IRRIGATION_CATALOG.pdf [Acedido em junho 18, 2021].
- IUSS Working Group WRB. (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014*. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Roma, 1-135.
- Jovanovic, N., Pereira, L. S., Paredes, P., Pôças, I., Cantore, V., Todorovic, M. (2020). Methods, technologies and devices to reduce non-beneficial consumptive water use on farms with focus on the use of updated FAO56 methods. *Agricultural Water Management*, 239, 106267.
- Kalo, N., Edan, Y., Alchanatis, V. (2021). Detection of irrigation malfunctions based on thermal imaging. In *Precision agriculture'21* (pp. 2217-2224). Wageningen Academic Publishers.
- Keller, J., Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lavanholi, R., Oliveira, F. C., Camargo, A. P., Frizzzone, J. A., Molle, B., Ait-Mouheb, N., Tomas, S. (2018). Methodology to Evaluate Dripper Sensitivity to Clogging due to Solid Particles: An Assessment, *The Scientific World Journal*, vol. 2018, 9p.. <https://doi.org/10.1155/2018/7697458>
- Lecina, S., Isidoro, D., Playán, E., Aragüés, R. (2010). Irrigation modernization and water conservation in Spain: The case of Riegos del Alto Aragón. *Agricultural Water Management*, 97 (10), 1663–1675. doi: 10.1016/j.agwat.2010.05.023
- Li, J., Zhang, J., Rao, M. (2004). Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agricultural Water Management* 67 (2), 89-104. doi:10.1016/j.agwat.2004.02.002
- Lobos, T. E., Retamales, J. B., Ortega-Farías, S., Hanson, E. J., López-Olivari, R., Mora, M. L. (2016). Pre-harvest regulated deficit irrigation management effects on post-harvest

- quality and condition of *V. corymbosum* fruits cv. Brigitta. *Scientia Horticulturae* 207, 152-159. doi: 10.1016/j.scienta.2016.05.022
- López, J. R., Abreu, J. M. H., Regalado, A. P., Hernández, J. F. G. (1997). *Riego localizado* (2º ed.). Madrid: Mundi-Prensa. 405p.
- Maatallah, S., Guizani, M., Hjlouai, H., Boughattas, N. E. H., Lopez-Lauri, F., Ennajeh, M. (2015). Improvement of fruit quality by moderate water deficit in three plum cultivars (*Prunus salicina* L.) cultivated in a semi-arid region. *Fruits* 70 (6), 325-332. doi: 10.1051/fruits/2015023
- Martin, D. L., Heermann, D. F., Madison, M. (2007). Hydraulics of sprinkler and microirrigation systems. In G.J. Hoffman, R.G. Evans, M.E. Jensen, D.L. Martin, R.L. Elliot (eds.) *Design and Operation of Farm Irrigation Systems* (2ª Ed.) . American Society of Agricultural and Biological Engineers, pp. 532-556
- Melo, M. A. C. B. A. (2021). Auditoria a sistemas de rega gota-a-gota. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa
- Mendes, J., Nunes, F. (2005). *Guia de Rega – Sistemas de Filtragem para a Rega*. C.O.T.R. – Centro Operativo e de Tecnologia de Regadi, Beja, 59p.
- Merriam, J. L., Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: a guide for management* (3º Ed.), UTAH State University, Logan, USA, 271p.
- Moñino, M. J., Blanco-Cipollone, F., Vivas, A., Bodelón, O. G., Prieto, M. H. (2020). Evaluation of different deficit irrigation strategies in the late-maturing Japanese plum cultivar 'Angeleno'. *Agricultural Water Management* 234. 10611. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106111
- Nagy, A., Tamás, J., Fórián, T., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z. (2010). Irrigation modeling in a pear orchard. *International Journal of Horticultural Science* 16 (3), 75–79. doi: 10.31421/IJHS/16/3/900
- Nakayama, F. S., Bucks, D. A. (1981). Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. *Trans. of ASAE*, 24(1): 77-80
- ODIS. (2021). Series 184 Pre Filtration Strainer. Disponível em: <http://www.odis.co.il/catalogue/product/4297> [Acedido em junho 06, 2021]
- Oliveira, I. (2011). *Técnicas de regadio: Teoria e Prática. Volume I* (2ª ed.). Beja: Rolo & Filhos, SA. 1766p.
- Oliveira, I., Nunes, F., Fabião, M. (2021). Avaliação de rega localizada. Disponível em: <https://en.calameo.com/read/00668220666c5484c63c0>. [Acedido em dezembro 10, 2021]

- Oweis, T., Rodrigues, P. N., Pereira, L. S. (2003). Simulation of supplemental irrigation strategies for wheat in Near East to cope with water scarcity. In: Rossi G., Cancelliere, A., A., Pereira, L. S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, pp. 259-272. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0129-8_15
- Paço, T. A. (2003). Modelação da evapotranspiração em cobertos descontínuos — Programação da rega em pomar de pessegueiro. Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 251 p. Disponível em: <http://purl.pt/6720> [Acedido em dezembro 09, 2020]
- Paço, T. A., Ferreira, M. I. F. R. (2004). Medição da evapotranspiração em cobertos Necessidades de rega em pomar de pessegueiro, 7º congresso da água, 7: 1-13p.
- 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
- Paço, T. A., Paredes, P., Pereira, L. S., Silvestre, J., Santos, F. L. (2019). Crop coefficients and transpiration of a super intensive Arbequina olive orchard using the dual Kc approach and the Kcb computation with the fraction of ground cover and height. *Water* 11 (2), 383-402. doi: 10.3390/w11020383
- Palau, C. V. (2019). DIMSUB, a computer program for designing microirrigation subunits. Tool definition and case studies. *Scientia Agricola*, 77 (3). doi: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0184>.
- Paredes, P., Rodrigues, G. C., Cameira, M. R., Torres, M. O., Pereira, L. S. (2017). Assessing yield, water productivity and farm economic returns of malt barley as influenced by the sowing dates and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management* 179, 132-143.
- Patel, N., Rajput, T. B. S., Dinkar, D. K., Ram, S., Singla, S. K. . (2018). DOMIS: a decision support system for design and cost estimation of micro-irrigation systems. *Current Science* (00113891), 115(12).
- Peddinti, S. R., Kambhammettu, B. V. N. P. (2019). Dynamics of crop coefficients for citrus orchards of central India using water balance and eddy covariance flux partition techniques. *Agricultural Water Management* 212, 68-77. doi: 10.1016/j.agwat.2018.08.027

- Pedras, C. M. G., Pereira, L. S. (2009). Multicriteria analysis for design of microirrigation systems. Application and sensitivity analysis. *Agricultural Water Management* 96, 702-710, doi: 10.1016/j.agwat.2008.10.007
- Pedras, C. M. G., Pereira, L. S., Gonçalves, J. M. (2009). MIRRIG: A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. *Agricultural Water Management* 96, 691-701, doi: 10.1016/j.agwat.2008.10.006
- Peragón, J. M., Pérez-Latorre, F. J., Delgado, A. (2017). A GIS-based tool for integrated management of clogging risk and nitrogen fertilization in drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 184, 86-95. doi: 10.1016/j.agwat.2017.01.007.
- Pereira, L. S. (Coord.). (2007). *Aspersão e microrrega: avaliação, modelação, projecto e condução da rega na WEB*. Rel. Final Projecto PEDIZA II 2002.64.002137.0, Minist. Agricultura, ISA, Centro de Estudos de Engenharia Rural/Dep. Eng. Rural, Lisboa.
- Pereira, L. S. (1999). Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. *Agricultural Water Management*, 40 (2-3), 153-169. doi: 10.1016/S0378-3774(98)00118-8
- Pereira, L. S. (2001). Desempenho de sistemas de rega. *Ingeniería del agua* 8 (3), 329-338. doi:10.4995/ia.2001.2871
- Pereira, L. S. (2002). *Diagnóstico de Sistemas de Rega em Pressão*. Rel. Final Projecto PEDIZA, Minist. Agricultura, ISA, Centro de Estudos de Engenharia Rural/Dep. Eng. Rural, Lisboa.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de água e métodos de rega*. Lisboa: Publicações Europa América. 312 p.
- Pereira, L. S., Duarte, E., Fragoso, R. (2014). Water use: recycling and desalination for agriculture. In: N. Van Alfen (Ed.) *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol. 5, San Diego: Elsevier; pp. 407-424. doi:10.1016/B978-0-444-52512-3.00084-X
- 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, 106357. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- Pereira, L. S., Paredes, P., Melton, F., Johnson, L., Mota, M., Wang, T. (2021). Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. *Agricultural Water Management* 252, 106663. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106663

- Pereira, L. S., Teodoro, P. R., Rodrigues, P. N., Teixeira, J. L. (2003). Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L. S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180
- Pereira, L. S., Valero, J. A. J., Buendí, M. R. P. B., Martín-Benito, J. M. T. (2010). *El riego y sus tecnologías*. (1ª edição, Ed.) Albacete, Espanha: CREA-UCLM. 296 p.
- Pimenta, J. C. A. (2021). Avaliação de dois sistemas de rega localizada. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- Pizarro, F. (1996). Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF) (3ª ed.). Ediciones Mundi-Prensa, 513p.
- Pôças, I., Paco, T. A., Cunha, M., Andrade, J. A., Silvestre, J., Sousa, A., Santos, F. L., Pereira, L. S., Allen, R. G. (2014). Satellite based evapotranspiration of a super-intensive olive orchard: application of METRIC algorithm. *Biosystems Engineering* 128, 69–81. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.06.019
- Póvoas, I., Barral, M. (1992). Métodos de análise de solos. Ministério do Planeamento e da Administração do Território; Secretaria de Estado da Ciência e da Tecnologia, Lisboa. 12-17 p.
- Progrés. (2021). AGRÓNIC 4000. Disponível em: <https://www.progres.es/es/agronic4000> [Acedido em julho 19, 2021]
- Quinas, R. M. F. (2017). Dimensionamento de sistemas de rega. Elaboração de um projeto de rega localizada por gota-a-gota e de um projeto de rega por aspersão. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 119 p.
- Rain Bird. (2021). Válvula anti vácuo 1/2". Disponível em: <https://rbirrigacao.com.br/produto/valvula-anti-vacu-1-2/> [Acedido em junho 15, 2021]
- Rallo, G., González-Altozano, P., Manzano-Juárez, J., Provenzano, G. (2017). Using field measurements and FAO-56 model to assess the eco-physiological response of citrus orchards under regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 180, 136-147. doi: 10.1016/j.agwat.2016.11.011
- Rallo, G., Paços, T., Paredes, P., Puig, A., Provenzano, G., Massai, R., Pereira, L. S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for trees and vine crops. *Agricultural Water Management* (250, 106645). doi: 10.1016/j.agwat.2020.106645

- Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Pereira, L. S. (2016). Características de Retenção de Água no Solo para Utilização na Rega das Culturas, INIAV, Lisboa, 76 p. ISBN: 978-972-579-043-4
- Rana, G., Kateji, N. (2000). Measurement and estimation of actual evapotranspiration in the field under Mediterranean climate: a review. *European Journal of Agronomy* 13, 125-153. doi: 10.1016/S1161-0301(00)00070-8
- Raposo, J. R. (1994). A rega localizada (gota-a-gota e miniaspersão). Lisboa: Edições Correio Agrícola. 166p.
- Raposo, J. R. (1996). A rega dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega. Fundação Calouste Gulbenkian.485p.
- Regaber. (2020a). AQUATIVEPLUS AC/DC. Obtido em 16 de julho de 2021, de <https://regaber.com/download/va-v5-800-pt-aquative/?wpdmdl=11327&refresh=60ed4f3b8659c1626165051>
- Regaber. (2020b). Retenção de latão Gaer®. Disponível em: <https://regaber.com/producto/retencion-laton-gaer/> [Acedido em julho 13, 2021]
- Regaber. (2020c). Soplante Gaer®. Disponível em: <https://regaber.com/producto/soplante-gaer/#toggle-id-2> [Acedido em junho 14, 2021]
- Regaber. (2020d). Tavlit® Mallas. Disponível em: <https://regaber.com/producto/tavlit-mallas/> [Acedido em junho 23, 2021]
- Regaber. (2020e). VÁLVULA GAL® PLÁSTICA. Disponível em: <https://regaber.com/download/jb-j3-013-pt-valvula-gal-s75/?wpdmdl=11230&refresh=60ed502ad5c551626165290> [Acedido em julho 13, 2021]
- Regaber. (2021). Catálogo de produtos Regaber. Disponível em: <https://achedosol.com/modules/manufacturersachedosol/pdf/netafim/catalogo-netafim.pdf> [Acedido em junho 13, 2021]
- Rodrigues, P. N. (2003). *Feasibility of deficit irrigation with center-pivot to cope with limited water supplies in Alentejo, Portugal*. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L. S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 203-222. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0129-8_12
- Rolim, J. T. (2008). IrrigRotation, a time continuous soil water balance model. *WSEAS Transactions on Environment and Development* 4 (7), 577-587.

- Rolim, J., Godinho, P., Sequeira, B., Paredes, P., Pereira, L. S. (2007). Assessing the SIMDualKc model for irrigation scheduling simulation in Mediterranean environments. In: Lamaddalena, N., Boglioti, C., Todorovic, M., Scardigno, A. (Eds.) *Water Saving in Mediterranean Agriculture & Future Research Needs (Proc. Int. Conf., WASAMED project, Valenzano, Fev. 2007)*, Options Méditerranéennes, Série B, 56, vol.I: 49-61.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Allen, R. G., Pereira, L. S. (2012). Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. *Agricultural Water Management* 103, 8-24. doi: 10.1016/j.agwat.2011.10.013
- Salazar, L., Tolisano, J., Crane, K., Wheeler, L., Kuile, M., Radtke, D. (1994). *Irrigation Reference Manual*. Peace Corps. 683p.
- Salcedo, F. P., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P. H., Takashi, A. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture-Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management* 97. doi: 10.1016/j.agwat.2010.03.003
- Samperio, A., Moñino, M. J., Marsal, J., Prieto, M. H., Stöckle, C. (2014). Use of CropSyst as a tool to predict water use and crop coefficient in Japanese plum trees. *Agricultural Water Management* 146, 57–68. doi: 10.1016/j.agwat.2014.07.019
- Samperio, A., Moñino, M. J., Vivas, A., Blanco-Cipollone, F., García-Martín, A., Prieto, M. H. (2015a). Effects of deficit irrigation during stage II and post-harvest on tree water status, vegetative growth, yield and economic assessment in “Angelino” Japanese plum. *Agricultural Water Management* 158, p. 69-81. doi:10.1016/j.agwat.2015.04.008
- Samperio, A., Prieto, M. H., Blanco-Cipollone, F., Vivas, A., Moñino, M. J. (2015b). Effect of post-harvest regulated deficit irrigation in ‘Red Beaut’ Japanese plum: tree water status, vegetative growth, fruit yield, quality and economic return. *Agricultural Water Management* 150, 92-102. doi: 10.1016/j.agwat.2014.12.006
- Santos, A. J. A. (2017). *Princípios de Rega Agrícola*. Porto: Publindústria. 208 p.
- Seko. (2017). Tekna Solenoid driven dosing pumps. Disponível em: <https://cdn.seko.com/s/fd6bffb3-f74b-4bca-8f75-dff47165ee68%2FTekna.pdf> [Acedido em junho 18, 2021]
- Shaw, A. G. (2018). Study on clogging problem of drip irrigation systems and its remedies. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7 (8), 1934-1941. doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.222>.
- Solomon, K. H. (1985). Global uniformity of trickle irrigation systems. *Trans. of ASAE*, 28(4): 1151- 1158

- Solomon, K. H., El-Gindy, A. M., Ibatullin, S. R. (2007). Planning and system selection. Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition, pp. 57-75
- Swinbank, W. C. (1951). The measurement of vertical transfer of heat and water vapor by eddies in the lower atmosphere. *Journal of Atmospheric Sciences* 8, 135-145. doi: 10.1175/1520-0469(1951)008<0135:TMOVTO>2.0.CO;2
- Talozi, S. A.; Hills, D. J. (2001). Simulating emitter clogging in a microirrigation subunit. *Trans. of ASAE*, 44(6): 1503-1509.
- Taylor, N. J. (2017). Modelling water use of subtropical fruit crops: the challenges. *Acta Horticulturae* 1160, 277–284. doi: 10.17660/ActaHortic.2017.1160.40
- Teixeira, J. L. (2021). ISAREG – Manual do Utilizador. Disponível em: <http://home.isa.utl.pt/~jlteixeira/index.htm> [Acedido em julho 29, 2021]
- Teixeira, J. L., Pereira, L. S. (1992). ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41 (2): 29- 48.
- Teixeira, J. L., Rolim, J. (2014). Impacte das alterações climáticas nos sistemas de regadio no Alentejo. ISAPress, 150p.
- Testezlaf, R. (2017). Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações. Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, UNICAMP. 215p. ISBN 978-85-99678-10-7 e-book
- Torrecillas, A., Correl, M., Galindo, A., Pérez-López, D., Memmi, H., Rodríguez, P., Cruz, Z. N., Centeno, A., Intrigliolo, S., Moriana, A. (2018). Chapter 5 - Agronomical Effects of Deficit Irrigation in Apricot, Peach, and Plum Trees. *Water Scarcity and Sustainable Agriculture in Semiarid Environment*. 87-109. doi: 10.1016/B978-0-12-813164-0.00005-3
- UN Water. (2010). UN-Water Annual Report 2010.21p. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/un-water-annual-report-2010/> [Acedido em março 20, 2021]
- Vanella, D., Ramírez-Cuesta, J. M., Sacco, A., Longo-Minnolo, G., Cirelli, G. L., Consoli, S. (2021). Electrical resistivity imaging for monitoring soil water motion patterns under different drip irrigation scenarios. *Irrigation Science* 39, 145-157. doi: 10.1007/s00271-020-00699-8
- Waller, P., Yitayew, M. (2016). Agricultural drip irrigation. In: *Irrigation and Drainage Engineering*. Springer, Cham, 289-304. doi:10.1007/978-3-319-05699-9_17.

- Williams, L. E., Grimes, D. W., Phene, C. J. (2009). The effects of applied water at various fractions of measured evapotranspiration on reproductive growth and water productivity of Thompson Seedless grapevines. *Irrigation Science* 28, 233-243. doi: 10.1007/s00271-009-0173-0
- Wu, I. P., Barragan, J. (2000). Design criteria for microirrigation systems. *Transactions of the ASAE*. 43(5): 1145-1154. doi: 10.13031/2013.3007.
- Zairi, A., El Amami, H., Slatni, A., Pereira, L. S., Rodrigues, P. N., Machado, T. (2003). *Coping with drought: deficit irrigation strategies for cereals and field horticultural crops in Central Tunisia*. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L. S., Oweis T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 181-201. doi: 10.1007/978-94-010-0129-8_10
- Zhou, B., Zhou, H., Puig-Bargués, J., Li, Y. (2019). Using an anti-clogging relative index (CRI) to assess emitters rapidly for drip irrigation systems with multiple low-quality water sources. *Agricultural Water Management*. 221(20), 270-278 doi: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.025>.

Anexos

Anexo I – Altura média das árvores (em, m).

Linha	Altura das árvores (m)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	2,0	2,2	2,3	2,5	2,8	2,7	2,2	2,2	2,8	2,8			
2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,0	2,2	1,7			
3	2,2	1,7	2,1	2,2	2,3	2,2	2,1	2,3	1,8	2,2			
4	2,2	2,3	2,2	2,2	-	2,2	-	-	2,5	2,7			
5	2,0	2,1	-	-	-	-	-	2,1	2,1	2,0	2,3	2,1	
6	2,7	-	2,5	-	2,7	2,6	-	-	2,2	2,6	2,5	2,6	
7	2,1	2,5	2,2	2,5	-	-	2,3	2,4	-	2,2	2,5	2,2	
8	2,1	-	2,2	-	2,1	-	-	-	-	-	-	-	
9	2,5	-	2,5	2,4	2,1	-	-	2,2	-	2,2	-	2,1	
10	2,1	2,1	-	-	2,5	2,2	2,2	-	2,6	2,3	2,2	-	
11	-	2,8	2,6	2,5	2,6	2,6	-	2,5	-	2,6	2,6	-	
12	2,7	2,9	2,8	2,8	2,3	2,3	2,8	2,8	2,7	2,7	2,8	2,7	
13	2,4	-	-	-	2,3	-	-	-	-	-	2,8	-	
14	1,8	1,8	-	1,9	-	2,1	2,0	2,0	2,0	2,2	2,2	2,3	
15	1,5	2,1	2,1	2,4	2,3	2,1	2,3	2,4	2,3	1,8	1,8	2,4	




O traço "-" significa que não foi possível determinar a altura da árvore, uma vez que esta foi removida do pomar por estar morta ou doente.

Anexo II – Fração de cobertura do solo.





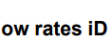
Variedade	Linha	Árvore	Largura total da projeção da sombra de cada árvore no solo (m)	Fração de Cobertura
R. C. Verde	1	1 ^a	2,40	0,48
		7 ^a	2,90	0,58
		9 ^a	2,30	0,46
R. C. Bavay	2	6 ^a	2,88	0,58
		7 ^a	2,60	0,52
		9 ^a	1,96	0,39
Primetime	3	1 ^a	2,40	0,48
		5 ^a	2,00	0,40
		8 ^a	3,00	0,60
Stanley	4	2 ^a	1,95	0,39
		9 ^a	2,50	0,50
		10 ^a	1,95	0,39
Black Splendor	5	12 ^a	2,90	0,58
	6	11 ^a	2,70	0,54
		12 ^a	2,70	0,54
Black Diamond	7	4 ^a	2,30	0,46
		8 ^a	2,40	0,48
		11 ^a	2,70	0,54
Laetitia	9	3 ^a	2,80	0,56
	10	2 ^a	2,51	0,50
		10 ^a	1,90	0,38
Sapphire	11	10 ^a	2,50	0,50
	12	11 ^a	2,88	0,58
		9 ^a	2,40	0,48
Pioneer	11	2 ^a	2,20	0,44
		3 ^a	2,55	0,51
		4 ^a	2,30	0,46
Fortune	13	5 ^a	2,20	0,44
	14	6 ^a	3,10	0,62
	15	12 ^a	3,00	0,60
Média da fração de cobertura			2,50	0,4992

Anexo III – Características de fabrico dos gotejadores presentes no sistema de rega do pomar das ameixeiras (Irritec, 2019).

iDrop Normal - Dripper characteristics

Actual flow rate	Colour	Inlet filter	Flow Equation		Recommended filtering	CV	Insertion hole
lph	-	Area mm ²	x	k	mesh	%	mm
2,1		2	0,46	0,76	120	≤ 3	2,5-3,0
4,0		2	0,46	1,44	120	≤ 3	2,5-3,0
8,2		2	0,46	2,90	120	≤ 3	2,5-3,0

iDrop PC - Dripper characteristics

Actual flow rate	Colour	Inlet filter	Flow Equation		Recommended filtering	CV	Minimum working pressure in bar		Drop Stop System DS in bar		Drop Stop System HDS in bar		Insertion hole
			x	k			PC	PCDS	opening	closure	opening	closure	
2,2		2	0,02	2,08	155	≤ 3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	2,5-3,0
3,2		2	0,02	3,15	155	≤ 3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	2,5-3,0
4,0		2	0,02	3,71	155	≤ 3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	2,5-3,0
6,0		2	0,02	6,05	155	≤ 3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	2,5-3,0
7,8		2	0,02	7,94	155	≤ 3	0,5	0,7	0,4	0,3	0,6	0,4	2,5-3,0

Working range: DS version from 0.7 to 4.0 bar - HDS version from 1.0 to 4.0 bar.

Available flow rates iDrop PC



2,20 lph - LIGHT BLUE



3,20 lph - BROWN



4,00 lph - GREEN



6,00 lph - GREY



7,80 lph - RED

Anexo IV – Introdução dos dados no programa ISAREG. A primeira imagem corresponde à introdução dos dados relativos ao solo, enquanto a segunda é dos dados da cultura.

```
PROGRAMA ISAREG

Quantas camadas de solo quer considerar ? ==> 4

Indique, no quadro seguinte, os elementos pedidos para cada camada

-----
                Profundidade  Profundidade  Capacidade  Coeficiente de
                inicial      final        de campo   emurchecimento
                (m)          (m)         de campo   (% volúmica)
                (m)          (m)         (% volúmica) (% volúmica)
-----
1ª camada      0.00          0.10         27.38       21.23
2ª camada      0.10          0.50         27.87       22.22
3ª camada      0.50          0.75         26.84       20.40
4ª camada      0.75          0.80         27.48       20.88
```

```
PROGRAMA ISAREG
VALORES ARMAZENADOS PARA A CULTURA DE CODIGO:
a

A --> Fase Inicial (Sementeira)
B --> Início da Fase de Crescimento Vegetativo
C --> Início da Fase Intermédia I - floração
D --> Início da Fase Intermédia II - formação do fruto
E --> Início da Fase Final - maturação
F --> Colheita (ou final da rega)

-----
                FASES:          A      B      C      D      E      F
-----
Início das fases do ciclo veget.  16/ 2  2/ 3  5/ 3  10/ 3  26/ 7  30/ 7
Fracção facil/ utilizvel, p (%)   50.0  50.0  50.0  50.0  50.0  50.0
Profundidade das raízes (m)       0.8   0.8   0.8   0.8   0.8   0.8

Coeficientes culturais:
Na fase de estabelecimento          (16/ 2 a 2/ 3) -----> 0.55
Na fase de desenvolvimento vegetativo ( 2/ 3 a 5/ 3) -----> 0.55 a 0.85
Na fase intermédia                   ( 5/ 3 a 26/ 7) -----> 0.85
Na fase final da cultura              (26/ 7 a 30/ 7) =====> 0.85 a 0.65
```

Anexo V – Quadros utilizados para a avaliação do sistema de rega localizada (Adaptado de Oliveira et al., 2003).

Volumes recolhidos nos gotejadores (ml)				
Localização da rampa no setor	Localização do gotejador na rampa			
	Na entrada	A 1/3	A 2/3	No final
À entrada				
A 1/3				
A 2/3				
No final				

Medição da pressão nos gotejadores (bar)		
Localização da rampa no setor	Localização do gotejador na rampa	
	Na entrada	No final
À entrada		
No final		

Anexo VI – Medição, em metros, da distância entre o último gotejador de uma árvore e o primeiro gotejador da árvore a seguir.

Localização da rampa no porta-rampas	1ª rampa (inicial)	5ª rampa (a 1/3)	10ª rampa (a 2/3)	15ª rampa (final)
1ª e 2ª árvore	2,64	2,66	2,63	2,48
2ª e 3ª árvore	2,69	2,66	2,70	2,74
3ª e 4ª árvore	2,69	2,63	2,63	2,61
4ª e 5ª árvore	2,54	2,63	2,62	2,65
5ª e 6ª árvore	2,66	2,71	2,67	2,64
6ª e 7ª árvore	2,67	2,65	2,72	2,67
7ª e 8ª árvore	2,58	2,65	2,63	2,64
8ª e 9ª árvore	2,66	2,65	2,64	2,57
9ª e 10ª árvore	2,47	2,71	2,74	2,52
10ª e 11ª árvore		2,76	2,46	2,65
11ª e 12ª árvore		2,16	2,72	2,67

Anexo VII – Boletim de análise de 2020 da água da rega.



Boletim nº 0267 / 2020

Departamento Ciências e Engenharia de Biosistemas
- Química e Ambiente -

Ciente: Data de entrada:
 Código do cliente: Data de saída:
 Tipo de amostra: Cultura:

Parâmetro	Resultado	Observações
pH	7,7	Sem restrições (GRAU 1).
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,70	Restrições ligeiras (GRAU 2).
Cloretos (Cl ⁻) (mg/L)	55,0	
Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻) (mg/L)	294,2	
Carbonatos (CO ₃ ²⁻) (mg/L)	<0,30	
Sódio (Na) (mg/L)	33,9	Sem restrições (GRAU 1).
Cálcio (Ca) (mg/L)	62,1	
Magnésio (Mg) (mg/L)	7,8	
Razão da Adsorção de Sódio (RAS ou SAR)		
Carbonato de Sódio Residual (CSR)		
Dureza total (CaCO ₃) (mg/L)	187,18	

* VMR - Valor Máximo recomendável Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto

Instituto Superior de Agronomia
Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas
Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa - PORTUGAL
Tel: + 351 21 365 32 16 email: henriqueibe@is.ua.pt

O responsável,

Henrique Ribeiro