

Auditoria a Sistemas de Rega Gota-a-Gota

Maria Ana de Castello Branco Ávila de Melo

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientadores: Professora Associada Isabel Maria Cerqueira Lopes Alves

Professora Auxiliar Paula Cristina Santana Paredes

Júri:

Presidente: Doutora Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada 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

Doutora Isabel Maria Cerqueira Lopes Alves, Professora Associada 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

2021

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Prof. Isabel Alves e à Prof. Paula Paredes, pela constante disponibilidade, por todos os ensinamentos, pelo espírito crítico que me impuseram a analisar as situações, e por todas as sugestões dadas ao longo do trabalho.

Gostaria de agradecer ao Prof. José Luís Teixeira pela sua incansável disponibilidade e por todos os esclarecimentos em todas as questões relativas aos sistemas de rega do ISA.

Agradeço aos meus pais, pelo seu apoio incondicional durante toda a minha vida, que sempre me incentivaram a dar o melhor de mim, em todas as coisas que faço, e por me terem ajudado naquilo que podiam, sempre que podiam. Aos meus irmãos, António, Duarte e Manel que sempre foram o meu maior exemplo, aos meus sobrinhos que me fazem querer ser um exemplo, e fazer sempre mais e melhor. À Carminho, a melhor irmã e amiga que poderia ter.

Por fim, a todos os meus amigos do ISA em especial, a Constança, o Francisco, o Pimenta e a Teresinha, por toda a amizade, alegria e companheirismo durante estes cinco anos no ISA. Aos restantes amigos e colegas que, de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para que conseguisse concluir esta dissertação e a minha formação académica.

Obrigada!

Resumo

A utilização da água na agricultura de regadio deve ser feita de maneira ponderada e rigorosa, não só para garantir a produtividade e qualidade final da produção mas também para garantir o uso adequado dos recursos hídricos. A rega localizada tem potencial para ser um método de rega muito eficiente, se o sistema for bem gerido e mantido através de avaliações periódicas.

Nesse sentido, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de rega gota-a-gota instalado em duas parcelas no Instituto Superior de Agronomia, primeiramente através do cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e, de seguida, verificar se o sistema responde às necessidades hídricas das plantas através do cálculo da evapotranspiração cultural (ET_c) e comparação com as dotações aplicadas.

Os resultados mostraram que CUC e CUD dos três sectores avaliados estão dentro dos padrões de classificação de excelente uniformidade de distribuição da água, indicando que o sistema de rega gota-a-gota se encontra em boas condições de operação, embora seja necessário fazer algumas melhorias, substituindo alguns emissores numa das parcelas, e continuar a fazer uma avaliação/manutenção periódica de todos os componentes do sistema.

Conclui-se, também, que o sistema de rega poderá não estar a ser gerido para responder às necessidades de rega das plantas, sendo necessário a avaliação periódica do balanço hídrico do solo de modo a verificar se as plantas se encontram, ou não, em stress hídrico e assim ajustar o calendário de rega.

Palavras-chave: rega localizada, avaliação, uniformidade de distribuição, necessidades de rega

Abstract

The use of water in irrigated agriculture should be careful and rigorous, not only to assure high productivity and final quality of the production, but also to guarantee the proper use of water resources. Drip irrigation has the potential to be a very efficient irrigation method when the system is well managed and maintained through periodic evaluations.

In this sense, this study aimed at evaluating the performance of a drip irrigation system installed in two plots at the Instituto Superior de Agronomia, firstly by calculating the Christiansen uniformity coefficient (CUC) and the coefficient of uniformity of distribution (CUD) and then verifying if the system is able to fulfill the water needs of the crops through the calculation of the crop evapotranspiration (ET_c) and comparison with the water applied.

The results showed that the CUC and CUD of the three sectors evaluated are within the classification standards of excellent uniformity of water distribution, indicating that the drip irrigation system is in good operating condition, although it is necessary to perform some improvements by replacing some emitters in one of the plots, and continuing to carry out periodic evaluation/maintenance of all system components.

It is also concluded that the irrigation system may not be responding to the water needs of the crops, and periodic evaluation of the soil water balance should be made in order to verify whether the plants are, or not, in water stress conditions and thus adjust the irrigation schedule.

Keywords: localized irrigation, evaluation, distribution uniformity, water requirements

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
1 Introdução	1
2 Revisão bibliográfica	2
2.1 Importância do regadio e a sua sustentabilidade ambiental	2
2.2 Rega localizada.....	3
2.2.1 Vantagens e desvantagens da rega localizada	3
2.2.2 Componentes do sistema de rega localizada	5
2.2.2.1 Cabeçal principal.....	5
2.2.2.2 Rede de condutas	8
2.2.2.3 Emissores	10
2.2.2.4 Sistemas de regulação e controlo	13
2.2.2.5 Equipamento de automatização	14
2.3 Manutenção de um sistema de rega	15
2.4 Avaliação dos sistemas de rega localizada	15
2.5 Evapotranspiração das culturas e necessidades de rega	18
2.6 Cultura dos citrinos	20
2.7 Cultura das macieiras.....	21
3 Materiais e metodologias.....	21
3.1 Caracterização das parcelas	22
3.2 Caracterização dos sistemas de rega instalados.....	23
3.2.1 Origem da água	23
3.2.2 Cabeçal de rega.....	24

3.2.3	Dispositivos de controlo e regulação	24
3.2.4	Sistema de fertirrega	27
3.2.5	Sistema de automatização	28
3.2.6	Conduatas.....	28
3.2.7	Emissores	29
3.3	Metodologia de avaliação de um sistema de rega localizada	29
3.3.1	Caracterização dos sectores de rega	29
3.3.2	Avaliação da uniformidade de rega nos sectores	30
3.4	Perdas de carga.....	32
3.5	Caudal de ponta para o projeto do sistema	35
3.5.1	Dados climáticos	35
3.5.2	Necessidades líquidas de rega da cultura	36
4	Resultados e discussão.....	39
4.1	Avaliação da uniformidade de rega	39
4.2	Perdas de carga.....	47
4.3	Caudal de projeto.....	52
5	Conclusões e recomendações	54
6	Referências bibliográficas	55
7	Anexos	i
	Anexo I- Análise do solo das parcelas	i
	Anexo II- Análise da água de rega	ii
	Anexo III- Formulário para avaliação de um sistema de rega localizada (COTR).....	iii
	Anexo IV- Esquema das conduatas dos setores 3, 4 e 5	vii
	Anexo V- Valores da evapotranspiração de referencia e evapotranspiração cultural das macieiras e dos citrinos para o mês e ponta (julho) para cada ano da serie de 30 anos (1951-1980).....	ix

Anexo VI- Calendário de rega dos sectores de rega 3 (macieiras_1), 4 (macieiras_2) e 5 (citrios).....X

Índice de figuras

Figura 1- Componentes de um sistema de rega localizada: 1-bomba 2-válvula de retenção 3-válvula de purga de ar 4-depósito de fertilizante 5-bomba injetora de fertilizante 6-válvula 7-manómetro 8-filtros 9- conduta principal 10- porta-rampas 11- emissores (https://extension.okstate.edu/fact-sheets/drip-irrigation-systems.html).....	5
Figura 2- Localização das parcelas em estudo e do cabeçal de rega.....	22
Figura 3- Informações sobre a bomba instalada no reservatório	23
Figura 4- Casa de rega.....	24
Figura 5- Dispositivos de controlo e regulação no cabeçal de rega	25
Figura 6- Medidor de pH e condutividade elétrica.....	26
Figura 7- Divisão das tubagens	26
Figura 8- Pressostato.....	26
Figura 9- Pré-filtro.....	26
Figura 10- Tanques de armazenamento de fertilizantes.....	27
Figura 11- Circuito de ar comprimido.....	27
Figura 12- Sistema de fertirrega	27
Figura 13- Sistema de automatização Agronic	28
Figura 14- Limpeza do filtro de discos, antes, durante e depois	30
Figura 15- Locais de medição no pomar de macieiras (setor 3 e 4).....	31
Figura 16- Locais de medição no pomar de citrinos (setor 5)	31
Figura 17- Diagrama Ombrotérmico para a estação meteorológica de Lisboa/Tapada da Ajuda (1951-1980).....	35
Figura 18- Emissor 1 no início da linha 11, que apresenta um caudal em jato e fuga de água	42

Figura 19- Emissor 1 a 2/3 do comprimento da linha 11, que apresenta uma fuga de água.	43
Figura 20- Emissor 2 no final do comprimento da linha 11, que apresenta um caudal em jato e fuga de água	43
Figura 21- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 1. As barras representam o desvio padrão das observações	45
Figura 22- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 4. As barras representam o desvio padrão das observações	45
Figura 23- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 7. As barras representam o desvio padrão das observações.....	45
Fugura 24- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 11.....	45
Figura 25- Linha Piezométrica.....	51
Figura 26- Percurso mais desfavorável	51

Índice de quadros

Quadro 1- Descrição dos tipos de filtros (Fonte: Nakayama et al., 2007; Pereira, 2004)	6
Quadro 2- Avaliação do equipamento de filtragem de um sistema de rega localizada (Fonte: Oliveira et al., 2003)	7
Quadro 3- Interpretação dos valores do Coeficiente de Variação (ASAE, 2014)	11
Quadro 4- Classificação da suscetibilidade ao entupimento em relação à dimensão da secção de passagem (Fontes: Boman, 1995; Keller e Bliesner, 1990)	12
Quadro 5- Tipos de emissores e suas características principais (Fonte: Pereira e Trout, 1999)	13
Quadro 6- Descrição dos sistemas de regulação e controlo de um sistema de rega localizada (Fontes: Pereira, 2004; Phene et al., 2013)	14
Quadro 7- Classificação dos sistemas quanto à uniformidade de distribuição (ASAE, 2001).	17
Quadro 8- Limites recomendados para a uniformidade de emissão, UE (adaptado de ASAE, 2003)	17
Quadro 9- Capacidade de Campo (CC) e Coeficiente de Emurchecimento (CE)	23
Quadro 10- Características das condutas do sistema de rega	28
Quadro 11- Dados Técnicos de emissores, marca UNIRAM (Fonte: https://regaber.com/producto/uniram)	29
Quadro 12- Dados técnicos dos emissores, marca IRRITEC (https://new.irritec.com/pt-br/catalogo-idrop/)	29
Quadro 13- Caracterização dos setores e subsectores de rega	30
Quadro 14- Identificação da estação meteorológica (Fonte: ipma.pt)	35
Quadro 15- Coeficiente Cultural (K_c) das macieiras (Pereira et al., 2021) e citrinos (Rallo et al, 2021)	36
Quadro 16- Coeficiente Cultural (K_c) ajustado ao clima	37

Quadro 17- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 3 a).....	39
Quadro 18- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 4 a).....	40
Quadro 19- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 4 b).....	40
Quadro 20- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 3 b).....	41
Quadro 21- Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior (q_{25%}); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) dos setores 3 e 4, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001).....	42
Quadro 22- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do setor 5.....	43
Quadro 23- Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior (q_{25%}); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do setor 5, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001).....	44
Quadro 24 -Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior (q_{25%}); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do setor 5 sem os valores atípicos, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001).....	44
Quadro 25- Perdas de carga no final de cada conduta dos subsectores de cima 3 a) e 4 a). 47	
Quadro 26- Perdas de carga no final de cada conduta dos subsectores de cima 3 b) e 4 b). 48	
Quadro 27- Pressão necessária à entrada e no final cada conduta do setor 3 e 4.....	49
Quadro 28- Perdas de carga no final de cada conduta do setor 5.....	50
Quadro 29- Pressão necessária à entrada e no final cada conduta do setor 5.....	50
Quadro 30- Caudal de projeto dos setores 3/4.....	52

Quadro 31- Caudal de projeto do setor 5	52
Quadro 32- Caudal de ponta dos setores 3/4 para um maior tempo de rega.....	53
Quadro 33- Caudal de ponta do setor 5 para um maior tempo de rega	53
Quadro 34- Necessidades de rega para o mês Julho de 2020	53
Quadro 35- Dotação aplicada em cada setor em Julho de 2020	53

Índice de símbolos

A - área da parcela (m^2)

A_r - área afetada pelo gotejador (m^2)

CC - capacidade de campo ($mm\ cm^{-1}$)

CE - coeficiente de emurchecimento permanente ($mm\ cm^{-1}$)

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen (%)

CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição (%)

Cv - coeficiente de variação de fabrico (adimensional)

D - diâmetro da tubagem (m)

d_{int} - diâmetro interno (mm)

e_a - pressão de vapor atual (kPa)

E_C - características dos emissores (adimensional)

E_{frega} - eficiência do sistema de rega (%)

e_s - pressão de vapor de saturação (kPa)

ET_o - evapotranspiração da cultura de referência ($mm\ dia^{-1}$)

ET_c - evapotranspiração da cultura ($mm\ dia^{-1}$)

ET_{cproj} - evapotranspiração cultural de projeto ($mm\ dia^{-1}$)

F - fator de Christiansen (adimensional)

f - fator de atrito (adimensional)

FI - filtragem (adimensional)

G - densidade do fluxo de calor do solo ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)

g - aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$)

h - altura média das árvores (m)

H - pressão a que opera o sistema (kPa)

H_c - perda de carga continua (m)

h_s - perdas de carga localizadas (m)

Δh - variação da pressão no sistema (bar)

ΔH_T - perda de carga total (m)

j - perda de carga unitária ($m\ m^{-1}$)

K -coeficiente cinético (adimensional)

K_c - coeficiente cultural médio (adimensional)

K_d - coeficiente de descarga característico de cada emissor (adimensional)

L - comprimento da tubagem (m)

m - expoente da velocidade (adimensional)

N - número de saídas existentes ao longo das condutas

n - número de emissores em análise
 np -número de emissores por planta
 n_{got}^o - número de gotejadores por árvore
 p - pressão (bar)
 $P(i)$ - probabilidade de ocorrência ou frequência empírica de Horton
 p/γ - altura piezométrica (m)
 P_e - precipitação efetiva (mm)
 $P_{m\acute{a}x}$ – pressão máxima (bar)
 q - caudal do emissor ($L h^{-1}$)
 q_i - caudal do emissor i ($L h^{-1}$)
 q_{med} - caudal médio dos emissores ($L h^{-1}$)
 $q_{25\%}$ -média dos caudais dos emissores no último quartil ($L h^{-1}$)
 q_n - caudal correspondente à pressão mínima ($L h^{-1}$)
 Q_{proj} - caudal de projeto ($L s^{-1}$)
 Re - número de Reynolds (adimensional)
 R_n - radiação líquida à superfície da cultura de referência ($MJ m^{-2} d^{-1}$)
 RH_{min} - humidade relativa mínima (%)
 T - temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}C$)
 t - tempo de medição (min)
 T - tempo de rega no mês de ponta (s)
 T_{rega} - tempo de rega (h)
 u_2 - velocidade do vento a 2 m de altura ($m s^{-1}$)
 v - velocidade média do escoamento ($m s^{-1}$)
 V_{arv} - volume médio aplicado por árvore em cada rega (L)
 V_m - volume médio recolhido (mL)
 $v^2/2g$ - altura cinética (m)
 X - expoente característico do escoamento do emissor (adimensional)
 x - indicador do regime de escoamento do emissor (adimensional)
 z - cota (m)
 Δz - variação de cota (m)
 (ε/D) -rugosidade relativa da tubagem (adimensional)
 Δ - declive da curva de pressão de vapor ($kPa ^{\circ}C^{-1}$)
 γ - constante psicrométrica ($kPa ^{\circ}C^{-1}$)

Índice de abreviaturas

ASAE- Sociedade Americana de Engenheiros Rurais

COTR- Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio

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

IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera

PE- polietileno

PE B.D.- polietileno de baixa densidade

PVC- policloreto de vinilo

1 Introdução

A produtividade agrícola, na maior parte do território português, é muito dependente do acesso à água para rega, devido às características do clima (com alternância entre a estação quente/seca e a estação fria/húmida). O défice hídrico característico do nosso país tenderá a agravar-se devido às alterações climáticas que, na região do Mediterrâneo, irão originar uma subida da temperatura do ar (maior evapotranspiração), uma redução dos volumes acumulados de precipitação anual, bem como a concentração da precipitação em períodos tendencialmente mais curtos (Teixeira e Rolim, 2014; AgroGes, 2019).

Assim, o grande desafio da agricultura de regadio nos próximos anos será aumentar a produção de alimentos com recursos limitados de água. Uma forma de enfrentar este desafio é a adoção de práticas que ajudem a melhorar a gestão e a eficiência do uso da água, especialmente à escala das parcelas. Práticas de rega deficitária e o uso de sistemas de rega gota-a-gota, nomeadamente no caso dos pomares, podem ajudar a maximizar não só a eficiência do uso da água como também a produtividade, e a melhorar os rendimentos e economia das explorações agrícolas (Ballester et al., 2013; Casadesús et al., 2011; Topak et al., 2016)

Neste âmbito, a análise do desempenho dos sistemas de rega tem vindo a assumir interesse crescente devido às implicações económicas e ambientais que lhe estão associadas. É essencial que os sistemas de rega sejam convenientemente dimensionados e frequentemente avaliados de modo a fornecer as dotações necessárias com a mais elevada uniformidade e eficiência de distribuição (Pereira et al., 2012; Pereira, 2017).

Este estudo foi realizado em dois pomares distintos, um de citrinos e outro de macieiras, localizados no Instituto Superior de Agronomia. Pretendeu-se avaliar o desempenho do sistema de rega, identificar possíveis problemas e elaborar propostas de alteração. O trabalho divide-se em 6 capítulos que contêm, para além da introdução e conclusão, uma revisão da bibliografia sobre os temas estudados, uma descrição dos locais de obtenção dos dados, uma descrição dos métodos de avaliação usados, os respetivos resultados e propostas de melhoria.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Importância do regadio e a sua sustentabilidade ambiental

O elevado crescimento demográfico e o rápido desenvolvimento da atividade económica resultaram no processo de intensificação da agricultura com o objetivo do aumento da produção de alimentos. Apesar de apenas 20% das terras agrícolas do mundo serem regadas, estas produzem 40% da colheita global, o que significa que o regadio aumenta substancialmente a produtividade da terra. Por outro lado, esta atividade pode ter consequências ambientais indesejáveis quando mal gerida, como alagamentos, salinização e degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (FAO, 2011; Fernández-Cirelli et al., 2009; Wichelns e Oster, 2006).

Somando o facto de a disponibilidade de água ser cada vez menor e a sua procura maior, torna-se necessário a sustentabilidade da agricultura de regadio, com a melhoria do uso da água de rega, ou seja, uma gestão adequada, reduzindo os consumos e racionalizando usos. Este objetivo passará pela melhoria e modernização dos regadios atuais, embora esta melhoria/modernização não deva ficar restringida ao nível das infraestruturas, mas também englobar e provocar mudanças significativas nos sistemas de aplicação, gestão e exploração da água de rega numa ótica conservacionista em termos não só da água, mas também do solo, energia e ambiente (Jiménez et al., 2014; Nuncio e Arranja, 2017; Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Pereira, 2017; UN Water, 2021).

Para que estes objetivos sejam alcançados deverão ser implementadas medidas para que o regadio possa ser uma atividade sustentável (Roldán, 2007), nomeadamente:

- medir e taxar a água em função do volume realmente usado (Fragoso e Noéme, 2018; Fragoso e Marques, 2009);
- dimensionar/projetar, conservar e gerir adequadamente o sistema de rega (Pereira, 2004);
- melhorar a programação da rega recorrendo a serviços como o SAGRA (Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo) do COTR (Centro Operativo e de Tecnologia do Regadio);
- aumentar a investigação à escala da parcela e promover o uso de técnicas de observação da parcela/ teledeteção e sistemas de informação geográfica (Bonfante et al., 2019; O'Shaughnessy e Rush, 2014);

- aumentar a formação dos regantes e dos diversos agentes, principalmente no que às novas tecnologias e às técnicas de desenvolvimento sustentável dizem respeito (Navarro-Hellín et al., 2016; Oliveira, 2011); e
- avaliar a eficiência e a produtividade tanto física como económica da água de rega (Enciso-Medina et al., 2009; Pitts et al., 1996; Rodrigues et al., 2013).

2.2 Rega localizada

A sustentabilidade da agricultura de regadio requer práticas que sejam ambientalmente corretas, economicamente viáveis e que conduzam a um elevado desempenho do sistema de rega (Oster e Wichelns, 2003; Pereira et al., 2002; Wichelns e Oster, 2006).

A rega localizada caracteriza-se pela taxa lenta de aplicação de água perto da zona radicular a baixas pressões, tendo-se tornado referência para práticas eficientes de conservação da água e otimização da resposta das plantas (Evans et al., 2013; Pereira, 2004).

Esta preferência deve-se ao facto deste método apresentar a possibilidade de aplicação correta da quantidade de água e de fertilizantes pretendidos (Hanson et al., 2006), como também um potencial de obtenção de elevados valores de eficiência e de uniformidade de rega, economia de mão-de-obra e capacidade de adaptação a quase todos os tipos de solos e topografia (Pereira, 2004; Pereira e Trout, 1999; Pereira et al., 2002).

Assim, com a crescente procura de recursos hídricos limitados e a necessidade de minimizar os impactos ambientais da rega, a tecnologia da rega localizada vai desempenhar um papel cada vez mais importante no futuro (Evans et al., 2013; Pereira, 2017).

2.2.1 Vantagens e desvantagens da rega localizada

A rega localizada apresenta um certo número de vantagens relativamente aos outros métodos. Entre essas vantagens poder-se-ão citar (Bucks et al., 1982; Pereira, 2004; Pereira e Trout, 1999; Vermeiren et al., 1983):

a) a eficiência do uso da água e dos fertilizantes, uma vez que permite um maior controlo sobre a aplicação dos mesmos, reduzindo deste modo os riscos de perdas por escoamento superficial e percolação profunda e, conseqüentemente, o risco de poluição associado aos fertilizantes;

b) a economia de mão-de-obra e de tempo relativamente aos métodos tradicionais, uma vez que as instalações são fixas. Esta economia aumenta com o grau de automatismo da

instalação que pode chegar a ser total;

c) a diminuição das necessidades de água de rega por unidade de área cultivada, uma vez que nem toda a superfície do solo é humedecida, o que também facilita a luta contra infestantes e a realização de operações culturais;

e) possibilidade de utilização em todos os tipos de terrenos/solos. Solos muito pesados/argilosos, que apresentam uma baixa condutividade hidráulica, são difíceis de regar por aspersão. Os solos ligeiros/arenosos não podem ser regados adequadamente pelos métodos de rega por gravidade. Nos terrenos bastante acidentados e irregulares pode utilizar-se sistemas de rega localizada;

f) menores consumos de energia em comparação com a rega por aspersão, devido às menores pressões de serviço dos emissores, facto mais relevante no caso dos sistemas de rega gota-a-gota.

Por outro lado, as principais desvantagens que estes sistemas de rega registam referem-se (Evans et al., 2013; Pereira, 2004):

a) às necessidades de manutenção e conservação elevadas, a grande sensibilidade ao entupimento dos emissores, o que obriga a elevados custos de substituição e manutenção da instalação. Este aspeto poderá, em certa medida, ser minimizado por medidas preventivas, tais como a seleção de emissores menos suscetíveis, uma filtragem adequada, tratamentos químicos da água da rega e limpeza e manutenção periódicos das condutas;

b) ao perigo de acumulação de sais junto da planta após a rega. Os sais acumulam-se na periferia do bolbo molhado e sobre toda a superfície humedecida do solo, cujas dimensões dependem da distribuição da água no solo e do tipo de solo. Após a rega, o efeito da evaporação e da transpiração diminuem o teor de humidade do solo e por conseguinte a concentração salina aumenta até à próxima rega, pelo que as regas devem ser frequentes de modo a evitar a concentração de sais na zona radicular;

c) o desenvolvimento radicular fica limitado, uma vez que neste tipo de rega o desenvolvimento radicular fica confinado à zona do bolbo humedecido, onde as condições de humidade e de nutrientes são mais favoráveis. A acumulação de sais na periferia do bolbo e a redução do teor de humidade fora deste limitam a capacidade das raízes de explorarem outras partes do solo. Uma maneira de evitar esta situação será a de garantir que se humedeça uma percentagem satisfatória da zona potencial para o desenvolvimento radicular

e

d) o elevado investimento inicial, na aquisição e montagem das instalações.

2.2.2 Componentes do sistema de rega localizada

Um sistema de rega localizado é constituído por vários elementos (Figura 1): cabeçal principal (sistema de bombagem, de filtragem e de fertirrega), a rede de condutas (condutas principal e secundária, porta-rampas e rampas), os dispositivos de controlo (válvulas, manómetros e dispositivos de automatização), e os emissores, sendo estes um dos dispositivos mais importantes visto que permitem que a água seja aplicada ao solo (Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Phene et al., 2013).

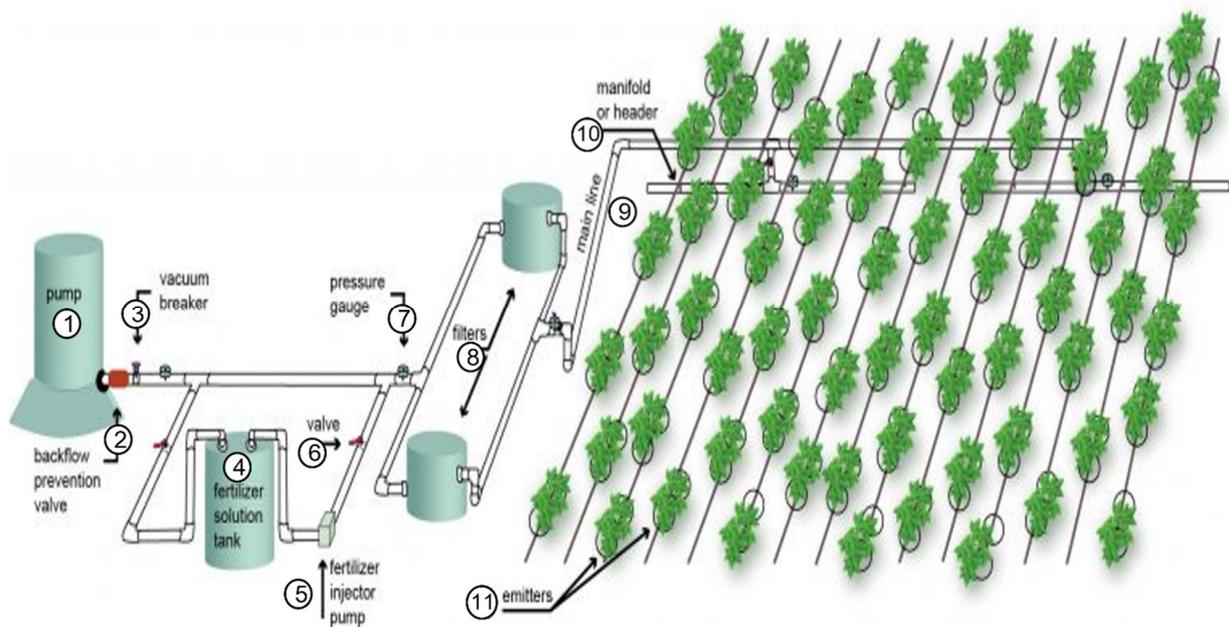


Figura 1- Componentes de um sistema de rega localizada: 1-bomba 2-válvula de retenção 3-válvula de purga de ar 4-depósito de fertilizante 5-bomba injetora de fertilizante 6-válvula 7-manómetro 8-filtros 9- conduta principal 10- porta-rampas 11- emissores
(<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/drip-irrigation-systems.html>)

2.2.2.1 Cabeçal principal

O cabeçal principal fornece água a partir da fonte até à rede de rega. Deve controlar a quantidade e a pressão da água fornecida, filtrar essa água de modo a que não cause problemas operacionais e adicionar fertilizantes e produtos químicos à água nas quantidades necessárias (Phene et al., 2013).

Os componentes do cabeçal principal de um sistema de microrrega encontram-se normalmente instalados no início da conduta principal e incluem: o sistema de bombagem, o sistema de fertirrega, o sistema de filtragem e o sistema de comando e controle. O sistema de bombagem é constituído pela bomba que fornece a carga necessária à água para garantir o funcionamento da rede de rega (Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Phene et al., 2013).

Sistema de filtragem

O principal objetivo do sistema de filtragem é impedir a passagem de impurezas e precipitados na água de rega de modo a manter as condutas (principais, secundárias), as rampas e os emissores limpos de modo a funcionarem corretamente. A qualidade física, biológica e química da água, incluindo a salinidade, é uma grande preocupação na gestão dos sistemas de rega localizada. As características da água e da sua origem (por exemplo, poços, canais, lagoas) devem ser consideradas quando se projeta o sistema de filtragem. O potencial de os emissores serem obstruídos por contaminantes físicos, químicos ou biológicos pode criar problemas significativos (Evans et al., 2013; Lamm et al., 2007; Nakayama & Bucks, 1991; Phene et al., 2013). Desta forma, um sistema de filtragem bem projetado e gerido é fundamental para estes sistemas, e deve ser apoiado por adequados tratamentos químicos e biológicos da água (Bucks et al., 1979; Evans et al., 2013).

O tipo, dimensão e número de filtros depende da qualidade da água e do caudal. Existem vários tipos de filtros, cada um com a sua finalidade específica (Quadro 1).

Quadro 1- Descrição dos tipos de filtros (Fonte: Nakayama et al., 2007; Pereira, 2004)

Tipo de Filtro	Descrição
Filtros de vórtice ou hidrociclones	Permitem a retenção de partículas minerais transportadas pela água. Têm normalmente uma forma cónica, com a parte mais estreita virada para baixo, existindo na base um depósito que recolhe o material filtrado
Filtros de areia	Destinam-se a filtrar as partículas orgânicas e algas. São constituídos por um depósito contendo camadas ordenadas de partículas de diversos diâmetros
Filtros de malha ou de discos	Destinam-se a completar a ação dos filtros de areia, eliminando impurezas mais reduzidas, e são geralmente colocados a jusante da injeção de fertilizantes na rede. Os elementos filtrantes podem ser anéis concêntricos ou malha plástica ou metálica, com orifícios de diâmetro inferior às dimensões de saída dos emissores utilizados.

É necessária uma manutenção periódica do equipamento de filtragem devido às perdas de pressão que possam ocorrer, consequentes da obstrução dos filtros. Assim, há que ter em conta a pressão existente à entrada e à saída de cada filtro, de modo a inferir o momento

exato em que se deve proceder à sua limpeza (mais informação sobre as perdas de carga em 2.2.2.2). Ao avaliar-se o sistema de filtragem, também se devem considerar as características e o estado de conservação do elemento filtrante (areia, malhas ou anilhas), já que destas dependerá o bom funcionamento do filtro e, em grande parte, do sistema de rega (Nakayama et al., 2007; Oliveira et al., 2003). Deste modo, é conveniente observar e recolher os dados técnicos listados no Quadro 2 necessários a uma boa gestão do equipamento de filtragem.

Quadro 2- Avaliação do equipamento de filtragem de um sistema de rega localizada (Fonte: Oliveira et al., 2003)

Primeira Avaliação	Avaliação Periódica
Número de filtros	Pressão à entrada e saída dos filtros
Localização dos filtros	Frequência de limpeza dos filtros
Capacidade de filtração	Data da última limpeza
Tipo de limpeza dos filtros (automática ou manual)	Características e conservação do equipamento
Pressão à entrada e saída dos filtros	Aspeto geral e manutenção dos filtros
Características e conservação do equipamento	
Aspeto geral e manutenção dos filtros	

Sistema de fertirrega

Uma das maiores vantagens de um sistema de rega localizada é a capacidade de permitir aplicar fertilizantes juntamente com a água. Frequentemente, este processo é conhecido como fertirrega (Hochmuth, 2017).

Um dos principais benefícios da fertirrega nos sistemas de rega localizada, sobre outros métodos de aplicação de fertilizantes, é o controle preciso da taxa de aplicação. A aplicação precisa de fertilizantes de alta qualidade é especialmente importante e pode melhorar a resposta da cultura aos nutrientes essenciais, usando menos fertilizante comparativamente com outros métodos de rega. Como resultado, é importante dimensionar um sistema de injeção que permita um bom controle sobre as taxas de aplicação (Phene et al., 2013).

O sistema de fertirrega é constituído por um tanque de fertilizante e um dispositivo de injeção de produtos químicos na rede de rega. Os tanques de fertilizante estão geralmente disponíveis em volumes que vão dos 30 litros a várias centenas de litros (Pereira, 2004).

O equipamento de fertirrega, para além da avaliação completa logo após a sua instalação, deve ser avaliado pelo menos duas vezes em cada campanha de rega, para assegurar a

correta taxa de aplicação, em função das necessidades da cultura e do coeficiente de uniformidade da rega (Oliveira et al., 2003).

2.2.2.2 Rede de condutas

A rede de condutas é formada pelo conjunto de tubagens que, de acordo com a sua função, são designados por condutas primária, secundária, porta-rampas e rampas, e estão dispostos por ordem decrescente dos seus diâmetros. As tubagens devem ser selecionadas com base no tempo de vida da instalação, bem como as práticas culturais, utilização de máquinas e condições ambientais. A colocação dos tubos em relação às plantas depende das operações culturais esperadas, espaçamento do emissor, caudal do emissor, dimensão da zona radicular e características hidráulicas do solo (Evans et al., 2013). As tubagens frequentemente utilizadas são de dois tipos de materiais: policloreto de vinilo (PVC) e polietileno (PE) (Oliveira, 2011; Pereira, 2004).

A conduta principal efetua o transporte da água desde a saída do cabeçal de rega até às condutas secundárias. As condutas secundárias têm por finalidade o abastecimento do porta-rampas. O porta-rampas alimenta as rampas, constituindo uma subunidade de rega também designada subsector de rega. Este pode estar à superfície, mas geralmente está enterrado e é constituído por PE. A pressão no porta-rampas depende da topografia, perda de pressão nas rampas, variação total da pressão permitida para o emissor escolhido e o caudal (Phene et al., 2013). As rampas são tubos habitualmente em PE aos quais estão ligados os emissores e cujo diâmetro externo varia entre 12 e 32 mm, podendo suportar pressões de cerca de 25 a 40 mca (Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Phene et al., 2013).

Uma das técnicas que se utiliza para fazer a manutenção das condutas é a lavagem. A lavagem da rede de condutas é necessária para remover as partículas que se acumulam nas rampas antes de atingirem tamanhos e quantidades que causem problemas de entupimento. Os sistemas de filtração não removem todos os materiais suspensos da água, como partículas do tamanho da argila e limo. Embora essas partículas sejam pequenas o suficiente para serem descarregadas através dos emissores, elas podem causar problemas de entupimento quando grandes quantidades estão presentes. Assim, as condutas devem ser lavadas, abrindo as extremidades durante a operação e permitindo que a água seja descarregada livremente para transportar o material sedimentado (Nakayama et al., 2007; Smajstrla e Boman, 2002).

Perdas de carga nas condutas

Conforme a água flui através de um sistema de rega, a energia dissipa devido às mudanças na velocidade do fluxo, ou atrito interno dentro da rede de condutas e componentes associados à mesma. O projeto do sistema deve incluir uma análise da energia para dimensionar adequadamente todos os componentes de modo garantir que as taxas de fluxo de água desejadas sejam alcançadas uniformemente em todo o sistema, sem pressões estáticas ou dinâmicas excessivas. A esta dissipação de energia chama-se *Perda de Carga* (Clark et al., 2007; Oliveira, 1993).

As perdas de carga que se podem verificar durante o escoamento numa tubagem podem ser essencialmente de dois tipos (Oliveira, 1993; Pereira, 2004):

- Perdas de Carga Contínuas- ocasionadas pela resistência ao escoamento ao longo das paredes da tubagem. Admite-se que elas sejam independentes da posição da tubagem.
- Perdas de Carga Localizadas- são provocadas por todas as alterações na velocidade causadas pelo alinhamento das tubagens, mudanças de secção, curvas, alargamentos, estreitamentos, válvulas, etc.

A perda de carga contínua pode determinar-se pela equação de Darcy-Weisbach (Oliveira, 1993; Pereira, 2004; Souza et al., 2014; Zitterell et al., 2014):

$$H_c = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

onde H_c se refere à perda de carga contínua, expressa em termos de altura de coluna de água (energia por unidade de peso de líquido escoado) (m), f é o fator de atrito, um parâmetro adimensional, função do número de Reynolds (Re) e da rugosidade relativa (ε/D) da tubagem, D o diâmetro da tubagem em m, v a velocidade média do escoamento ($m\ s^{-1}$), g a aceleração da gravidade ($m\ s^{-2}$) e L o comprimento da tubagem (m).

A equação geral da Hidráulica para o estudo das perdas de carga localizadas é:

$$h_s = K \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

onde h_s é perda de carga localizada (m), K é o coeficiente cinético (adimensional) que depende das características geométricas do que produz a perda de carga, e do número de Reynolds, v a velocidade do escoamento (m s^{-1}) e g a aceleração da gravidade (m s^{-2}) (Bagarello et al., 1997; Cardoso et al., 2008; Juana et al., 2002; Provenzano e Pumo, 2004; Rettore Neto et al., 2009).

2.2.2.3 Emissores

Os emissores são os equipamentos usados em rega localizada com a finalidade de dissipar carga hidráulica e debitar um pequeno caudal a uma taxa tão uniforme quanto possível (Clark et al., 2007; Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Phene et al., 2013).

Os emissores podem ser classificados de acordo com vários critérios: distribuição de água, conexão à rampa, variabilidade dos caudais, capacidade de compensar variações de pressão, dissipação de pressão, sensibilidade à temperatura, suscetibilidade ao entupimento, material de construção, etc. De seguida estão enumeradas algumas das principais características dos emissores que afetam a eficiência do sistema de rega e devem ser levadas em consideração durante o processo de seleção (Pereira, 2004; Savva e Frenken, 2002).

Variabilidade dos caudais. Expoente característico do caudal de um emissor

A relação caudal-pressão dos emissores é bem caracterizada através da equação característica do débito dos emissores (Karmeli e Keller, 1975; Nakayma e Bucks, 1986; Pereira, 2004):

$$q = K_d \times H^X \quad (3)$$

onde q se refere ao caudal do emissor (L h^{-1}), K_d é o coeficiente de descarga, característico de cada emissor (adimensional), H a pressão a que opera o sistema (kPa), X o expoente característico do escoamento do emissor (adimensional). Os valores de K_d e de X para um determinado emissor são constantes e devem ser fornecidos pelo fabricante.

O expoente característico do escoamento do emissor, X , é uma medida da sensibilidade do caudal do emissor a mudanças de pressão. Os valores de X variam de 0 a 1, com valores à volta de 0,5 mais comuns para emissores de fluxo turbulento. Valores baixos de X (inferior a 0,5) indicam emissores que são relativamente insensíveis a mudanças de pressão (emissores autocompensantes), enquanto valores altos de X indicam emissores que variam

significativamente o seu caudal caso haja alterações de pressão (emissores de fluxo turbulento) (Pereira, 1999; Savva e Frenken, 2002; Smajstrla et al., 2018).

Coefficiente de variação de fabrico

ASAE (2014) define o coeficiente de variação de fabrico (Cv) como uma medida da variabilidade do caudal de uma amostra aleatória de uma determinada marca, modelo e tamanho do emissor, conforme fornecido pelo fabricante e antes de quaisquer operações de campo. É determinado através da razão entre o desvio padrão do caudal e o caudal médio verificado numa amostra de 50 emissores sob uma pressão definida e a 20 °C ($Cv = \sigma_s/q_{med}$).

Quadro 3- Interpretação dos valores do Coeficiente de Variação (ASAE, 2014)

Tipo de Emissor	Intervalo de Cv	Classificação
Aplicação por pontos	<0,05	Excelente
	0,05 a 0,07	Médio
	0,07 a 0,11	Marginal
	0,11 a 0,15	Mau
	>0,15	Inaceitável
Aplicação em linha	<0,10	Bom
	0,10 a 0,20	Médio
	>0,20	Marginal a Inaceitável

Sensibilidade à temperatura

Ocorre variação dos caudais quando as secções dos percursos de água nos emissores se expandem ou se contraem devido à influência da temperatura sobre o material de que são fabricados. Informação sobre impactos da variação da temperatura deve ser fornecida pelo fabricante (Keller e Bliesner, 1990; Pereira, 2004; Savva e Frenken, 2002).

Suscetibilidade ao entupimento

O entupimento de emissores é um dos maiores problemas associados ao uso de rega localizada. Uma vez que os diâmetros dos orifícios são muito reduzidos, os emissores entopem facilmente ou ficam parcialmente obstruídos por partículas, precipitados químicos ou substâncias orgânicas (Yu et al., 2019). Por estas razões, a uniformidade e a eficiência da aplicação de água pode ser muito afetada pelo desempenho do emissor (Clark et al., 2007; Pereira, 2004; Smajstrla et al., 2018).

A suscetibilidade dos emissores ao entupimento depende principalmente da menor dimensão para a passagem da água e da sua velocidade na passagem pelos orifícios de saída. Velocidades de passagem da água entre 4 e 6 m s⁻¹ reduzem substancialmente o entupimento por partículas finas. Relativamente à dimensão da secção de passagem, pode adotar-se a classificação constante no Quadro 4 (Boman, 1995; Keller e Bliesner, 1990).

Quadro 4- Classificação da suscetibilidade ao entupimento em relação à dimensão da secção de passagem (Fontes: Boman, 1995; Keller e Bliesner, 1990)

Dimensão da secção de passagem	Classificação
<0,7 mm	Muito suscetível
0,7 a 1,5 mm	Suscetível
>1,5 mm e emissores autolimpantes	Pouco suscetível

Um sistema de rega localizada adequadamente dimensionado deve incluir medidas preventivas para evitar o entupimento dos emissores. Essas medidas incluem, como anteriormente referido, o tratamento para alteração da qualidade da água, sistema de filtragem devidamente dimensionado, e lavagem periódica das condutas e dos emissores, (Abdulqader e Ali, 2017; Haman, 2017; Li et al., 2018; Sietan Chieng e Ali Ghaemi, 2013).

Tipos de emissores

Em termos do mecanismo aplicado para dissipar a pressão, existem vários tipos de emissores (Quadro 5).

No que toca ao tipo de aplicação, esta pode ser por pontos quando afastados entre si criando bolbos molhados individuais, ou podem ter uma aplicação em linha, quando os emissores se encontram mais juntos, criando um bolbo molhado contínuo (ASAE, 2014; Pereira, 2004). Os emissores podem também ser classificados de acordo com a sua conexão com a rampa, podendo ser on-line, colocados no exterior da rampa, ou in-line, inseridos no interior da rampa (Pereira, 2004; Savva e Frenken, 2002).

Quadro 5- Tipos de emissores e suas características principais (Fonte: Pereira e Trout, 1999)

Tipo de Emissor	Descrição	Expoente Característico, x
Percurso longo	A perda de carga é assegurada por intermédio de um tubo comprido. Quanto mais comprido for o tubo, maior será a resistência ao escoamento e, conseqüentemente, a perda de carga.	0,7
Orifício	Existe um único orifício simples; caso típico dos microaspersores	0,5
Labirinto	A perda de carga é assegurada por intermédio de um percurso longo e sinuoso.	0,5-0,55
Vortex	A água entra tangencialmente por uma câmara na qual gira saindo por um orifício	0,4
Auto-compensantes	São gotejadores equipados com um material elástico que assegura um caudal constante independentemente das variações de pressão na lateral.	0-0,5
Tubos perfurados	A energia é simplesmente dissipada através de um tubo perfurado. É um sistema bastante simples, mas é praticamente impossível regular o caudal, e são bastante sensíveis aos entupimentos.	0,7
Tubos porosos	São tubos cujo material é bastante poroso, através do qual o caudal é função do material e da pressão de funcionamento, normalmente bastante baixa	≥1,0

2.2.2.4 Sistemas de regulação e controlo

A existência de sistemas de regulação e controlo ao longo do sistema de rega, como manómetros e válvulas, é necessária para assegurar a operação adequada e segura do sistema. No Quadro 6 estão descritos alguns dos mecanismos que podem ser utilizados (Evans et al., 2013; Oliveira, 2011; Pereira, 2004; Phene et al., 2013).

Quadro 6- Descrição dos sistemas de regulação e controlo de um sistema de rega localizada (Fontes: Pereira, 2004; Phene et al., 2013)

Mecanismos	Descrição
Manómetro	É um componente importante do sistema, uma vez que permite determinar a pressão nos pontos desejados, tanto no cabeçal de rega como no campo
Válvula de purga de ar	Permite a saída do ar acumulado dentro da tubagem e deve ser instalada no ponto mais alto do cabeçal principal e nas partes convexas da rede de rega.
Válvula de retenção	Evita o retorno da água após a interrupção do fluxo, evitando assim que os produtos químicos injetados na água da rega (fertilizantes ou outros) contaminem a fonte de abastecimento de água. pelo que deve ser colocada a montante do sistema de fertirrega.
Válvula volumétrica	Caracteriza-se por deixar passar o volume de água para que foi previamente regulada, após o qual interrompe o fluxo da água na conduta. Alguns modelos apenas registam o volume total de água que passou pela válvula.
Válvula de segurança	Permite a saída de água do sistema quando se verificam excessos anormais de pressão. Quando posicionada na saída do reservatório que está colocado na base do hidrociclone facilita, ainda, a limpeza das partículas sólidas aí depositadas pelo processo de filtragem.
Válvula de seccionamento	Destina-se a interromper ou abrir o fluxo de água que passa numa determinada tubagem. Estas válvulas quando colocadas no cabeçal principal permitem o controlo do funcionamento dos dispositivos aí instalados e quando colocadas a montante do porta-rampas possibilitam o funcionamento sequencial dos vários sectores de rega. Estas válvulas podem ser de vários tipos de acordo com o tipo de regulação: <u>Válvulas elétricas (electroválvula):</u> servem para interromper ou abrir o fluxo de água de acordo com o sinal elétrico enviado por um programador de rega <u>Válvulas hidráulicas:</u> destinam-se a interromper ou abrir o fluxo de água de acordo com o sinal hidráulico, através de um mecanismo sensível à pressão da água.

2.2.2.5 Equipamento de automatização

As questões relativas à gestão da rega, nomeadamente a localizada, concentram-se em quando regar, quanto aplicar, como avaliar com precisão o estado hídrico da cultura e integração de outras atividades culturais com as necessidades de rega. Essas decisões são facilitadas pela adoção de uma programação de rega, que pode ser apoiado com automatização e monitorização (Evans et al., 2013).

A automatização de um sistema de rega refere-se à operação do sistema com nenhuma ou mínima intervenção manual. Os sistemas de rega localizada podem ser altamente automatizados (Hochmuth, 2017; Nagarajan, 2020). Como referido anteriormente, um sistema de rega localizado é constituído por uma rede de condutas, que formam sectores/unidades de rega, que por sua vez pedem ser controlados através de válvulas localizadas, tanto no cabeçal

de rega, como ao longo das condutas principais e secundárias. Assim é possível ativar/desativar sucessiva e automaticamente estas condutas de modo que as quantidades desejadas de água e fertilizantes, sejam aplicados num determinado sector. Estas válvulas devem ser conectadas aos centros de controlo, onde estão localizados os comandos/programadores de rega (Pereira, 2004).

A automatização pode ser alcançada através de vários comandos, conforme os objetivos do agricultor. A automatização pode ser realizada através de relógios/temporizadores simples ou comandos programáveis mais sofisticados. Alguns comandos podem ser colocados no telemóvel, em casa, escritório ou mesmo no cabeçal de rega e podem guardar dados para uso futuro. Alguns podem detetar problemas com o sistema e desligá-lo. Outros podem integrar dados meteorológicos ou informações de humidade do solo e calcular as necessidades de rega, ligando e desligando o sistema de rega (Hochmuth, 2017; Muñoz-Carpena & Dukes, 2020). Deste modo a automatização tem várias vantagens, incluindo maior precisão, uso mais eficiente da água, redução de mão de obra, e do risco subjacente a mão de obra não especializada (Panigrahi et al., 2019; Priyan & Panchal, 2018).

2.3 Manutenção de um sistema de rega

Um bom programa de manutenção envolve a implementação de registos consistentes de medidores de caudal e pressão, de modo a identificar possíveis fugas ou entupimentos de condutas/emissores. Um programa de tratamento químico de água apropriado é necessário como prevenção à ocorrência de sedimentação nas condutas, entupimentos dos emissores e problemas de filtração. As condutas principais, porta-rampas e rampas devem ser lavadas para remover sedimentos pelo menos uma vez por mês ou conforme necessário durante a campanha de rega, dependendo da qualidade da água de rega. Monitorizar a frequência de retrolavagem do filtro primário e as diferenças de pressão permite identificar o desenvolvimento de problemas de filtração, assim como a necessidade de limpeza. Estes processos podem ser muito facilitados por tecnologias de comunicação remota vinculadas a computadores locais. Inspeções visuais de campo frequentes também são necessárias para encontrar emissores que estão obstruídos, identificar válvulas de descarga a funcionar incorretamente e localizar tubagens/ condutas danificados (Arshad, 2020; Evans et al., 2013; Merriam et Keller, 1978; Nakayama et al., 2007; Oliveira, 1993).

2.4 Avaliação dos sistemas de rega localizada

Um sistema de microrrega tem potencial para ter níveis de eficiência muito elevados. No entanto, para ser aplicada com eficiência, a água de rega deve ser distribuída uniformemente,

ou seja, a quantidade de água aplicada deve ser aproximadamente igual em cada planta. Se a rega não for aplicada uniformemente, algumas áreas receberão mais água do que outras e, como resultado, o crescimento das plantas também não será uniforme. A uniformidade é especialmente importante quando o sistema de rega é usado para aplicar produtos químicos, que serão aplicados tão uniformemente quanto a água de rega (Evans et al., 2013; Heermann & Solomon, 2007; Smajstrla et al., 2018).

Para uma correta avaliação de um sistema de rega é necessário ter em conta alguns indicadores de desempenho. Os indicadores mais importantes para fazer esta avaliação são a uniformidade de distribuição e a uniformidade de emissão, sendo o primeiro resultado de dados tirados no campo, e o segundo, resultado de características de fabrico do emissor (Lord et al., 2007; Pereira, 2004).

Várias definições matemáticas foram propostas e usadas para descrever a uniformidade de distribuição de um sistema de rega localizada. O coeficiente de uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942) foi definido para avaliar os sistemas de rega e tem o precedente histórico mais forte na indústria de rega (Tang et al., 2018). É definido como:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{1}{n q_m} \sum_{i=1}^n |q_i - q_{med}| \right) \quad (4)$$

sendo CUC o coeficiente de uniformidade de Christiansen (%), q_i o caudal do emissor i ($L h^{-1}$), q_{med} o caudal médio dos emissores ($L h^{-1}$) e n é o número de emissores em análise.

A uniformidade em sistemas de rega pode ser avaliada pelo coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), descrita por Merriam e Keller (1978):

$$CUD = 100 \frac{q_{25\%}}{q_{med}} \quad (5)$$

em que $q_{25\%}$ é a média dos caudais dos emissores no último quartil ($L h^{-1}$) e q_{med} o caudal médio na parcela ($L h^{-1}$). A classificação dos sistemas, de acordo com os standards da ASAE (2001), encontra-se sumariada no Quadro 7.

Quadro 7- Classificação dos sistemas quanto à uniformidade de distribuição (ASAE, 2001).

UD (%)	Classificação do sistema
>90%	Excelente
75-90%	Bom
62-75%	Médio
50-62%	Mau
<50%	Inaceitável

A variabilidade do caudal do emissor causada por variações na estrutura do orifício e no desempenho hidráulico pode resultar de um controle de qualidade de fabrico inadequado. A uniformidade de emissão afetada pela variação de fabrico tem sido um dos critérios mais frequentemente usados para o projeto e avaliação da rega localizada (Barragan et al., 2006). Keller e Karmeli (1974) definiram uma relação de uniformidade de emissão de projeto empírico para o sistema de rega gota-a-gota expressa como:

$$UE = 100 \left[1,0 - \frac{1,27C_V}{\sqrt{np}} \right] \frac{q_n}{q_m} \quad (6)$$

onde C_V é o coeficiente de variação de fabrico (adimensional), np é o número de emissores por planta, q_n é o caudal ($L h^{-1}$) correspondente à pressão mínima e q_m é o caudal ($L h^{-1}$) médio. A razão q_n/q_m exprime as consequências da variação da pressão, enquanto o fator $[1,0 - 1,27C_V/\sqrt{np}]$ traduz os efeitos da variabilidade de fabrico. O valor do coeficiente 1,27 especifica a localização do quarto inferior da média das amostras numa distribuição normal. O Quadro 8 apresenta os valores de UE aconselhados pela ASAE (2003).

Quadro 8- Limites recomendados para a uniformidade de emissão, UE (adaptado de ASAE, 2003).

Disposição do emissor/ Tipo de Cultura	Espaçamento (m)	Topografia	Declive (%)	UE (%)
Emissor pontual/cultura perene	> 4	Uniforme	< 2	90 a 95
Emissor pontual/cultura perene ou semi-perene	> 4	Ondulada	> 2	85 a 90
Emissor pontual/cultura perene	< 4	Uniforme	< 2	85 a 90
Emissor pontual/cultura perene ou semi-perene	< 4	Ondulada	> 2	80 a 90
Emissor em linha continua	Qualquer	Uniforme	< 2	80 a 90
Emissor em linha continua	Qualquer	Ondulada	> 2	70 a 85

Assim, a uniformidade pode ser representada por uma relação funcional com as diferentes

variáveis intervenientes (Pereira e Trout, 1999), como:

$$UD = f\{h, \Delta h, x, E_C, C_V, FI\} \quad (7)$$

que indica a sua dependência em relação às variáveis de projeto: h - pressão a que opera o sistema (kPa), Δh - variação da pressão no sistema (bar), x - indicador do regime de escoamento do emissor (adimensional), E_C - características dos emissores (adimensional), C_V - coeficiente de variação de fabrico (adimensional) e FI - filtragem (adimensional).

2.5 Evapotranspiração das culturas e necessidades de rega

A evaporação da água do solo e a transpiração da água por parte das plantas, no seu conjunto, designa-se por evapotranspiração (ET, mm). A taxa de evapotranspiração representa, assim, a quantidade de água que se perde para a atmosfera num determinado período. Define-se por necessidade hídrica da cultura a quantidade de água que compensa as perdas por evapotranspiração (Allen et al., 1998; Pereira, 2004).

Quando a precipitação não é suficiente para satisfazer as necessidades hídricas da cultura é necessário fornecer o adicional de água de forma artificial através da rega, para que as culturas consigam obter o seu máximo de produção. A taxa a que essa água é fornecida é função das características dos solos, das condições climáticas, das características da cultura e do seu estado de desenvolvimento. O balanço hídrico de um solo regado calcula-se por diferença entre as entradas (precipitação, rega e ascensão capilar a partir de toalha freática pouco profunda) e saídas (escoamento superficial, drenagem profunda, evapotranspiração) de água que, quando contabilizadas, permitem a cada momento avaliar o estado hídrico do solo e determinar as necessidades de rega da cultura (Allen et al., 1998; Pereira, 2004, 2007).

Os métodos indiretos para a estimativa da evapotranspiração diária de uma cultura, dada a sua facilidade de implementação, são os mais utilizados e baseiam-se na estimativa da evapotranspiração da cultura de referência (ET_o , mm dia⁻¹), a partir da qual é posteriormente determinada a evapotranspiração de outras culturas (ET_c , mm dia⁻¹), utilizando para tal um coeficiente cultural (K_c , adimensional) o qual integra as características da cultura em estudo (resistências aerodinâmica e de superfície e o albedo) que a distinguem da cultura de referência (Allen e Pereira, 2009; Rallo et al., 2021).

Segundo Allen et al. (1998), a evapotranspiração de referência (ET_o) é definida como a evapotranspiração de uma cultura de referência hipotética, com altura uniforme (0,12 m), um

albedo de 0,23 e uma resistência de superfície de 70 s m^{-1} , que se assemelha a um relvado extenso que cobre completamente o solo, livre de infestantes e doenças e sem limitações de água. Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários métodos para estimar a ET_o . A criação de vários métodos justifica-se devido à necessidade de tornar as estimativas mais simples e/ou devido às limitações na disponibilidade dos dados climáticos que são necessários aos cálculos (Paredes et al., 2020, 2021; Pereira, 2004; Pereira e Alves, 2016).

A metodologia que melhor estima a evapotranspiração de referência baseia-se no método FAO Penman-Monteith (Allen et al., 1998) (Equação 8) e pode ser determinada com base nos valores de diversas variáveis climáticas, como a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), humidade relativa (%), velocidade do vento (m s^{-1}) e radiação solar ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$). Assim a evapotranspiração de referência diária é calculada como:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (8)$$

onde 0,408 é o valor inverso do calor latente de vaporização ($\lambda = 2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$); Δ é o declive da curva de pressão de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), R_n é a radiação líquida à superfície da cultura de referência ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), G é a densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), 900 é o coeficiente para a cultura de referência [$\text{kJ}^{-1} \text{ kg K}$] resultante da conversão de segundos para dias e de coeficientes devidos à substituição das variáveis relativas às características do ar húmido que condicionam o transporte de vapor; T é a temperatura média do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$), u_2 velocidade do vento a 2 m de altura (m s^{-1}), $e_s - e_a$ é o défice de pressão de vapor (kPa) resultante da diferença entre a pressão de vapor de saturação (e_s) e a pressão de vapor atual (e_a) relativos à temperatura T , e 0,34 é um coeficiente resultante da razão entre a resistência de superfície e a resistência aerodinâmica.

Como anteriormente referido, a ET_c (mm dia^{-1}) pode ser calculada utilizando a aproximação K_c - ET_o (Allen et al., 1998) em que a partir do coeficiente cultural e da evapotranspiração de referência se obtém a evapotranspiração cultural (ET_c):

$$ET_c = K_c ET_o \quad (9)$$

2.6 Cultura dos citrinos

Os citrinos são uma cultura importante em Portugal desde o séc. XVI, sendo o Algarve a principal região citrícola do país. Tem uma área de cultivo de 21481 ha segundo o INE (2021). Em meados do séc. XX houve um grande aumento da área de cultivo no Algarve, tendo a citricultura passado a constituir o principal sector da agricultura da região e um dos principais sectores da fruticultura nacional, tendo a área de cultivo aumentado cerca de 16% nos últimos dez anos a nível nacional (Duarte, 2017; INE, 2020). Oriundos do continente asiático (China e Índia), os citrinos adaptaram-se bem em muitas zonas do mundo, com especial destaque para a bacia do Mediterrâneo, grande parte do continente americano e ainda o Sul do continente africano (Duarte, 2012).

Todos os citrinos são muito exigentes em água (6000/7000 m³/ha). O seu sistema radicular adequa-se às condições e humidade do solo. Nas condições climáticas de Portugal a precipitação não é suficiente para satisfazer as necessidades hídricas dos citrinos, sendo a rega indispensável (Duarte, 2012). Devido às altas necessidades hídricas da cultura e o aumento da superfície cultivada, há um crescente interesse em melhorar a sustentabilidade da cultura a fim de otimizar o seu uso de água, para preservar a produtividade, maximizando os benefícios económicos e mantendo a qualidade dos frutos (Carr, 2012; Rallo et al., 2017; Rodriguez-Sinobas, 2016).

Uma forma de otimizar os recursos hídricos é empregar estratégias de rega deficitária (Feres e Soriano, 2006). A rega deficitária envolve o fornecimento de água equivalente a menos de 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c) ao longo do seu ciclo. A rega deficitária controlada envolve a redução do fornecimento de água durante parte do ciclo de desenvolvimento da planta, coincidindo com períodos de baixa sensibilidade da cultura aos défices hídricos (Lampinen et al., 1995). Nos últimos anos, vários estudos contribuíram para documentar as vantagens de utilização destas estratégias para melhorar a eficiência do uso da água sem comprometer a produção e a qualidade dos frutos, especialmente no clima mediterrânico (Carr, 2012; García-Tejero et al., 2007, 2008, 2010; Muriel et al., 2006). Uma alternativa à prática de rega deficitária convencional é a rega parcial da zona radicular, que visa fornecer água suficiente para prevenir ou atenuar o défice hídrico foliar, ao mesmo tempo que expõe algumas raízes ao solo seco para estimular a produção de sinais químicos e sua transmissão, de modo a parte aérea da planta restringir o seu uso de água, aumentando a eficiência do uso da água da cultura (Dodd et al., 2006; Hutton e Loveys, 2011; Stoll et al., 2000).

Portanto, é necessário determinar as necessidades hídricas dos citrinos, de forma a projetar métodos simples, práticos e precisos para otimizar a rega e adotar técnicas de programação e gestão (Gasque et al., 2016; Puig-Sirera et al., 2021).

2.7 Cultura das macieiras

A maçã (*Malus domestica*) é um dos frutos mais consumidos no mundo. A China é o maior produtor deste fruto, sendo Portugal representante de uma pequena fração da produção mundial (FAO, 2019). A área cultivada de pomares de maçã é de 11306ha e tem vindo a aumentar nos últimos anos (+15%) e é na região do Ribatejo e Oeste que se encontram as maiores áreas cultivadas destas culturas (INE, 2020). As macieiras têm facilidade de adaptação a diferentes condições climáticas e tipos de solo, são resistentes a baixas temperaturas e necessitam de um número importante de horas de frio, podendo assim ser cultivadas em todos os países de clima relativamente frio (Westwood, 1993).

Em Portugal tem-se assistido a transformações importantes, nomeadamente ao nível da intensificação cultural, permitindo ganhos significativos de produtividade. Esta intensificação dos pomares permite uma maior produtividade, um retorno antecipado do investimento de capital e rendimentos elevados de frutos de boa qualidade. Estas densidades devem estar associadas ao uso de porta-enxertos de baixo vigor (ex. M9), tecnologia de produção moderna e adequada (ex. rega e nutrição), proporcionando produtividades elevadas e regulares, mecanização facilitada e maior eficiência das operações (Afonso et al., 2017; Melo et al., 2019; Wertheim et al., 2001).

As fruteiras, em particular a macieira, são culturas que exigem muita água (600 mm de água entre o abrolhamento e a queda das folhas) sendo indispensável a rega, especialmente no nosso clima. A rega localizada é o método de rega mais comumente usado para esta cultura (El et al., 2018; Melo et al., 2019; Mpelasoka e Behboudian, 2001; Osroosh et al., 2016; Rallo et al., 2021).

O défice hídrico pode afetar muito a produtividade das culturas, principalmente quando ocorre na fase de floração, e também os aspetos qualitativos quando imposto durante todo o período reprodutivo (Conceição, 2006; Lovelli et al. 2007; Passioura, 2004)). Técnicas como rega deficitária programada e rega parcial da zona radicular têm vindo a ser estudadas para esta cultura (Fallahi et al., 2010; O'Connell e Goodwin, 2007; Robinson et al., 2017)

3 Materiais e metodologias

3.1 Caracterização das parcelas

Foram estudadas duas parcelas, um pomar de macieiras e um pomar de citrinos, localizadas no Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, em Lisboa (latitude 38°43'N; longitude 9°7'W) (Figura 2). O pomar de macieiras em estudo foi instalado em 2016, produz maçãs de variedade *Gala* e *Fuji*, tem uma dimensão de 4000 m² e para efeito de fertirrega foi subdividido em dois sectores de rega (sector 3 e 4). O compasso do pomar é de 4 m x 1 m, a altura média das árvores é de 2,5 m, a fração do solo coberta é cerca de 15%, e a profundidade radicular é cerca de 0,7 m. Em relação ao pomar de citrinos, este foi plantado em 1996 com as seguintes variedades: Laranjeiras das variedades *Fortuna*, *Navelate*, *Valencia late* e *Baía*; Tangerineiras das variedades *Ortinete*, *Hernandina*, *Clementina nova*, e *Encore*, e ainda Limoeiros da variedade *Lisboa*. Tem uma dimensão de 1850 m², um compasso de 3 m x 5 m, as árvores têm uma altura média de 2 m, a fração do solo coberta é cerca de 50%, com uma profundidade radicular média de 0,9 m. A rega, nas duas parcelas, faz-se, no período de ponta, duas vezes por semana durante 3 h e 30 min.



Figura 2- Localização das parcelas em estudo e cabeçal de rega (Fonte: Google Earth)

Em relação ao solo, foram feitas análises recentes na zona entre a vinha e o pomar de macieiras (Anexos I). Os resultados indicam que o solo nesta zona tem uma espessura de

0,65 a 0,80 m, com um pH de 7,4 (Cortez, 2021). O horizonte mais superficial tem uma textura franca e o segundo horizonte franco-argilosa, ou seja, os teores de argila são bastantes inferiores aos que seriam expectáveis para os solos da Tapada. Através do estudo de Ramos (2016) foi possível extrapolar os valores de CC e CE do quadro da variação de CC e CE em função das classes texturais. Os valores estão indicados no Quadro 9.

Quadro 9- Armazenamento da água (A) à capacidade de campo (CC) e ao coeficiente de emurchecimento (CE)

	Profundidade (cm)	A _{CC} (mm cm ⁻¹)	A _{CE} (mm cm ⁻¹)
1º Horizonte	0-30	3,4	1,8
2º Horizonte	30-40	3,7	2,3

3.2 Caracterização dos sistemas de rega instalados

3.2.1 Origem da água

A água que alimenta este sistema de rega provém de um reservatório de água, com uma capacidade de 300 m³ e localizado por baixo do Miradouro a 130 m de altitude e com um desnível em relação aos dois pomares de cerca de 80 m (Agro.ges, 2020). Este reservatório é abastecido por um furo proveniente das minas de água existentes na Tapada da Ajuda. A bomba que alimenta o reservatório (Wilo AG 44263 Dortmund Germany) tem um sistema que permite que esta entre em funcionamento quando se atinge um nível mínimo de água, e pare de trabalhar quando se atinge um nível máximo (Figura 3). No Anexo II estão apresentados os resultados da análise à água de rega feita no ano de 2020.



Figura 3- Informações sobre a bomba instalada no reservatório

3.2.2 Cabeçal de rega

A casa de rega, onde se encontra o cabeçal de rega e sistema de automatização, foi instalada perto da cantina uma vez que fica no centro de toda a área a regar (Figura 4), tem instalação elétrica a funcionar, a conduta proveniente do reservatório passa a uma distância de 10 m e a pressão hidrostática disponível nesta localização é de 8 bars. Esta casa de rega tem como função albergar o cabeçal que abastece oito sectores: sector 1 e 2 (vinha), sector 3 e 4 (pomar de macieiras, sector 5 (pomar de citrinos), sector 6 (pomar de pessegueiros e damasqueiros), sector 7 (pomar de ameixeiras) e, finalmente o sector 8 (pomar de figueiras).



Figura 4- Casa de rega

3.2.3 Dispositivos de controlo e regulação

No cabeçal de rega encontramos todos os aparelhos e dispositivos complementares de controlo, regulação e segurança dos tipos e em número apropriado ao respetivo grau de automatização. Estes são, primeiramente, uma válvula de segurança (Figura 5- 1), que permite a saída de água da instalação quando se verificam pressões excessivas anormais e que constitui um elemento de segurança caso ocorra pancada de ariete. De seguida encontra-se instalada uma electroválvula (Figura 5- 2) da marca Regaber e modelo Galsol, que funciona à base de um solenóide, que origina a abertura ou fecho automático da passagem de água na conduta. Está ligada por meio de um cabo elétrico ao Programador Central. A água escoo de seguida até um contador volumétrico (Figura 5- 3), que mede o volume escoado no momento. Existe depois um regulador de pressão (Figura 5- 4), de modo a reduzir a pressão para 4 bars. Em seguida a água passa através de um filtro de discos (Figura 5- 5) modelo Aquamatic (120 mesh), onde a jusante e a montante estão instalados dois manómetros (Figura 5- 6) a fim de contabilizar a perda de carga provocada pelo filtro. Imediatamente a seguir, está instalada uma válvula antirretorno (Figura 5- 7), fundamental para evitar a contaminação da fonte de água com fertilizantes. Está também instalada uma bomba doseadora de ácido, ácido fosfórico 72% (QuimiTécnica.com) (Figura 5- 8) do modelo Seko,

que mede e controla o pH da água, funcionando como um tratamento contínuo da água de rega.

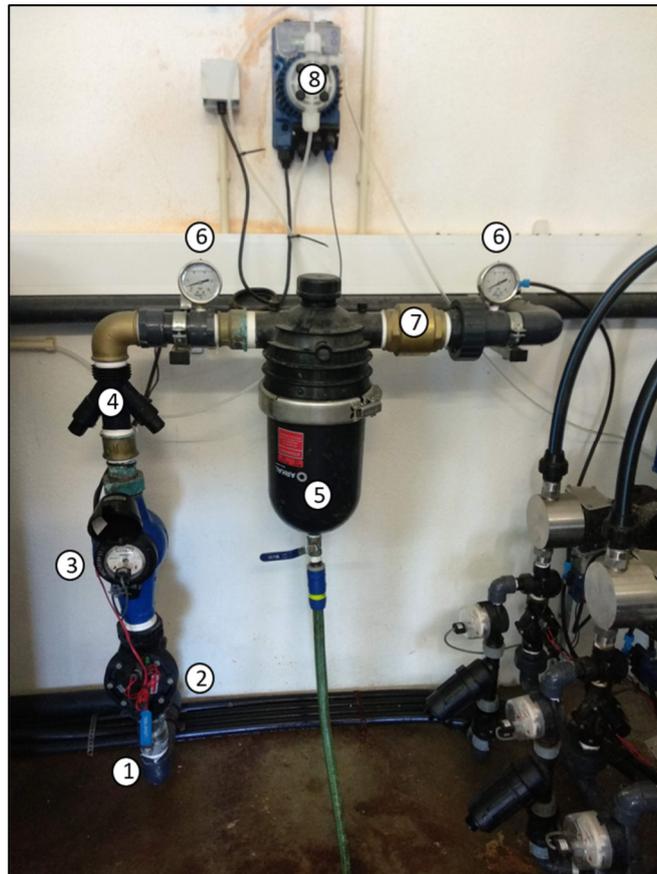


Figura 5- Dispositivos de controlo e regulação no cabeçal de rega

A conduta da água de rega tem no princípio um medidor de pH (Figura 6- 1 e 2) e outro de condutividade elétrica (Figura 6- 3), é depois dividida em 8 tubagens correspondentes aos diferentes sectores de rega (Figura 7), como foi mencionado anteriormente, e mais uma tubagem que iria ser utilizada para um pomar tradicional que estava previsto ser plantado. A cada tubagem ativa corresponde uma electroválvula (Figura 7-1) da marca Regaber modelo Galsol, que abre ou fecha automaticamente a passagem de água para cada sector. As tubagens que abastecem os pomares têm ainda instaladas uma válvula de purga de ar (Figura 7- 2) de modo a deixar sair o ar acumulado dentro das condutas e um regulador de pressão que baixa a pressão para 2,5 bars. No final está instalado um pressostato XMP (Figura 8) que funciona como interruptor do circuito quando este está abaixo de uma pressão mínima. Foi este ano ainda instalado um filtro de malha de 5 mesh (Copersa modelo 18402) (Figura 9) com o objetivo de fazer uma pré filtragem a todas as pedras e impurezas de maior dimensão. Todas as tubagens presentes na Casa de Rega são de PVC com uma pressão nominal de 10 kgf/cm² e com 50 mm de diâmetro.

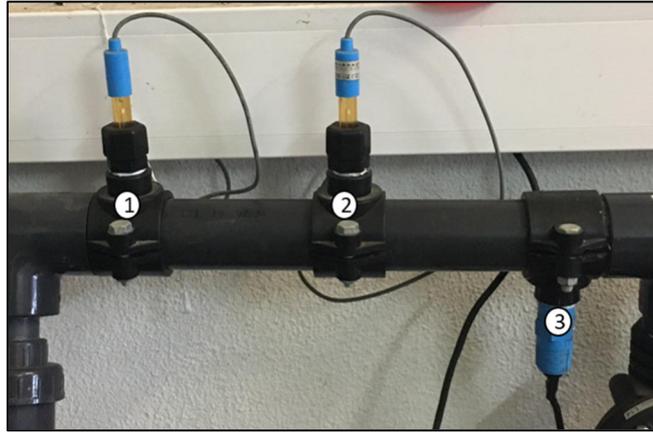


Figura 6- Medidor de pH e condutividade elétrica



Figura 7- Divisão das tubagens



Figura 8- Pressostato



Figura 9- Pré-filtro

3.2.4 Sistema de fertirrega

Para a introdução de produtos químicos na água de rega são necessários dispositivos de armazenamento desses produtos, de injeção dos mesmos na água de rega e cuidados de manuseamento. Assim, como meio de armazenamento, são utilizados 4 depósitos troncocónicos com 500 L (Figura 10-1) de capacidade, cada um com um adubo diferente. Está instalado um circuito de ar comprimido (Figura 10-2) que funciona como agitador através de uma bomba sopradora (Figura 11-3) do modelo Gaer, de modo a manter a solução estável e evitar a sedimentação. Os quatro tipos de fertilizantes são filtrados através de um filtro de malha da marca Netafim (Figura 12-4) associado a um sistema de retrolavagem (Figura 12-5) da marca Netafim. Seguidamente são injetados na água de rega através de 4 bombas doseadoras de pistão (Figura 12-6) também da Netafim, uma por cada depósito, a fim de evitar a ocorrência de precipitados resultantes de reações dos diferentes elementos dos adubos.



Figura 10- Tanques de armazenamento de fertilizantes

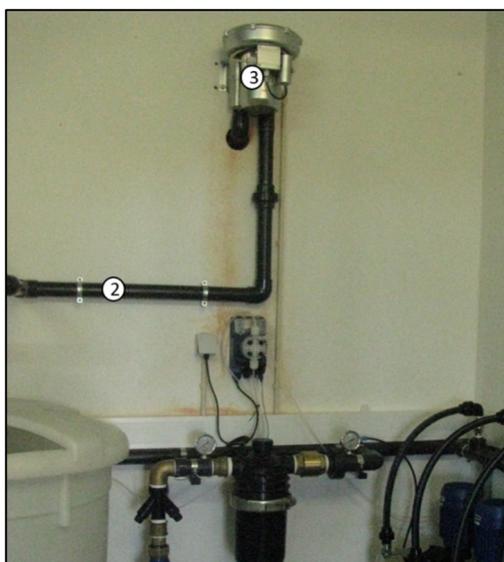


Figura 11- Circuito de ar comprimido



Figura 12- Sistema de fertirrega

3.2.5 Sistema de automatização

A automatização do sistema de rega é assegurada por intermédio de um programador da marca Agronic modelo 4000-CX (Figura 13). Estes programadores têm a capacidade de realizar o comando de bombas, válvulas, equipamentos de fertirrega e recebem leituras de contadores de caudal e diversos tipos de sondas.



Figura 13- Sistema de automatização Agronic

3.2.6 Conduatas

A rede de distribuição é constituída por uma rede de 8 conduatas principais que se iniciam na casa de rega para abastecer os diferentes setores de rega. No Quadro 10 estão indicadas as características das conduatas relativas aos sectores de rega avaliados.

Quadro 10- Características das conduatas do sistema de rega

Tipo de conduata	Material	Diâmetro Externo (mm)	Espessura (mm)	$p_{\text{máx}}$ (bar)	Extensão (m)		
					Subsector 3A e 4A	Subsector 3B e 4B	Sector 5
Principal	PE B.D.	32	2	4	55	80	257
Porta-rampas	PE B.D.	32	2	4	40	40	55
Rampa	PE B.D.	16,2	1	4	25	25	33

PE BD- Polietileno de baixa densidade, $p_{\text{máx}}$ – pressão máxima

3.2.7 Emissores

No pomar de macieiras são utilizados emissores autocompensantes, da marca UNIRAM, inseridos nas tubagens (in-line) e cujos dados técnicos de catálogo se encontram no Quadro 11.

Quadro 11- Dados Técnicos de emissores, marca UNIRAM (Fonte: <https://regaber.com/producto/uniram>)

Caudal (L h ⁻¹)	Intervalo de pressão de trabalho (bar)	Área do filtro (mm ²)	Constante K	Expoente X
2,3	0,5-4,0	130	2,3	0

Em relação ao pomar de citrinos, os emissores são da marca IRRITEC e debitam um caudal de 4 L h⁻¹ (emissores verdes) e 8,2 L h⁻¹ (emissores encarnados). No Quadro 12, podem ser encontrados os respetivos dados técnicos de catálogo. Segundo o Quadro 3 o valor do coeficiente de variação de fabrico é classificado como excelente.

Quadro 12- Dados técnicos dos emissores, marca IRRITEC (<https://new.irritec.com/pt-br/catalogo-idrop/>)

Caudal (L h ⁻¹)	Cor	Intervalo de pressão de trabalho (bar)	Constante K	Expoente X	CV
4		0,5-3,5	1,44	0,46	≤ 0,03
8,2		0,5-3,5	2,9	0,46	≤ 0,03

3.3 Metodologia de avaliação de um sistema de rega localizada

Para a avaliação do sistema de rega localizada seguiu-se a metodologia de Merriam e Keller (1978), Keller e Bliesner (1990), Oliveira (1993) e Pereira e Trout (1997) e que foi adaptada pelo COTR. Estas metodologias permitem o cálculo dos indicadores de desempenho do sistema de rega anteriormente descritos (ver secção 2.4), de forma a se tomarem as medidas mais oportunas para a melhoria do sistema de rega, caso tal se justifique. Foi utilizado um formulário concebido pelo COTR (Anexo III) de modo a facilitar o registo das medições.

3.3.1 Caracterização dos sectores de rega

Neste estudo foram avaliados três setores de rega, dois setores (setor 3 e 4) divididos cada um em dois subsectores (subsetor 3 a), 3 b), 4 a), e 4 b)), que correspondem ao pomar de macieiras, e o setor 5, que corresponde ao pomar de citrinos. No Anexo IV estão representados os três setores de rega. No Quadro 13 encontra-se uma caracterização detalhada destes setores e subsectores de rega.

Quadro 13- Caracterização dos setores e subsectores de rega

	Setores/Subsetores				
	3A	3B	4A	4B	5
Área da parcela (m ²)	1000	1000	1000	1000	1815
Compasso (m x m)	1x4	1x4	1x4	1x4	3x5
Número de árvores por setor	250	250	250	250	121
Nº de linhas p/ setor	10	10	10	10	11
Nº árvores p/ rampa	25	25	25	25	11
Nº gotejadores p/ rampa	50	50	50	50	22
Nº de gotejadores p/ árvore	2	2	2	2	2
Caudal do setor (L h ⁻¹)	2300		2300		1984

3.3.2 Avaliação da uniformidade de rega nos setores

Para uma correta avaliação procedeu-se, primeiramente, a uma limpeza do filtro de discos (Figura 14) instalado no cabeçal de rega e à lavagem dos porta-rampas abrindo as suas extremidades durante o funcionamento do sistema.



Figura 14- Filtro de discos antes, durante e após a limpeza

Foram selecionadas quatro rampas por cada setor, a primeira rampa do porta-rampas, a que se encontrava a 1/3 do comprimento do porta-rampas, outra a 2/3 do comprimento e a última do porta-rampas. No pomar de macieiras foram assim selecionadas as linhas 1, 4, 7, e 10 para a avaliação do setor 3 a) e 4 b) e as linhas 11, 14, 17 e 20 nos setores 4 a) e 3 b) (Figura 15), enquanto no pomar de citrinos as linhas foram a 1, 4, 8 e 11 (Figura 16). Ao longo das rampas foi recolhido o volume de água emitido por quatro gotejadores consecutivos durante um período de 1 minuto e efetuada a medição com uma proveta graduada de 100 mL. As medições foram efetuadas à entrada da lateral (rampa), a 1/3 do comprimento, a 2/3 do comprimento e no final da lateral. A pressão foi medida no final de cada rampa selecionada para avaliação através de um manómetro (0 a 4 bar).

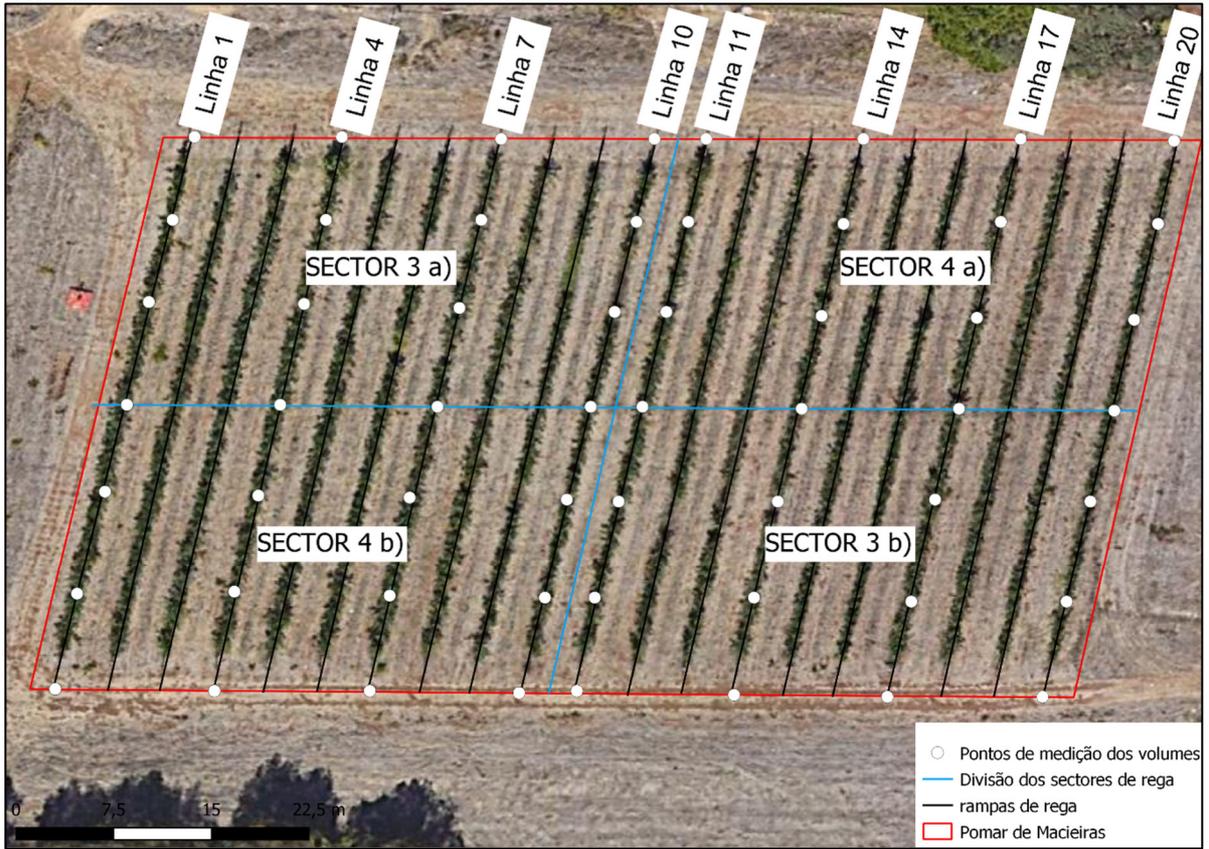


Figura 15- Locais de medição no pomar de macieiras (setor 3 e 4)



Figura 16- Locais de medição no pomar de citrinos (setor 5)

Para quantificar o caudal médio medido nos gotejadores recorreu-se a uma folha de cálculo, determinando-se a média de todos os volumes recolhidos de acordo com a sua localização. De seguida calculou-se a média destes mesmos volumes, ou seja, o volume médio recolhido. O caudal médio medido nos gotejadores, determina-se segundo a seguinte equação:

$$q_m = \frac{\left(\frac{V_m}{t}\right) \times 60}{1000} \quad (10)$$

onde q_m é o caudal médio emitido pelos gotejadores ($L h^{-1}$), V_m o volume médio recolhido (mL) e t o tempo de medição em minutos.

Para o cálculo dos dois coeficientes (*CUC* e *CUD*) utilizados nesta avaliação recorreu-se às equações (4) e (5). No cálculo do coeficiente da uniformidade de distribuição (*CUD*) é necessário determinar o caudal médio no quartil mínimo. Recorrendo a uma folha de cálculo, ordenaram-se os volumes de água por ordem crescente e procedeu-se à seleção dos 25% valores mais baixos. Depois desta determinação fez-se a média desses valores.

A determinação do volume médio aplicado por árvore e por rega foi efetuada como:

$$V_m = n^{\circ}_{got} \times q_m \times T_r \quad (11)$$

onde V_m é o volume médio aplicado por árvore em cada rega (L), n°_{got} o número de gotejadores por árvore e T_{rega} o tempo de cada rega (h). A dotação média foi calculada como:

$$Dotação_{média} = \frac{V_m}{A} \quad (12)$$

onde $Dotação_{média}$ (mm) é a dotação média e A (m^2) área calculada através do compasso de plantação.

As pressões nas tubagens apenas foram medidas no final de cada rampa, uma vez que os porta-rampas estão enterrados.

Perdas de carga

Neste trabalho, avaliaram-se as perdas de carga nas condutas que vão desde o cabeçal de rega até ao final das rampas seleccionada para avaliação. Deste modo foi possível fazer uma comparação das pressões medidas no campo com as pressões calculadas, a fim de se tentar perceber se existe alguma perda de carga localizada desconhecida, como por exemplo a resultante de obstrução ou fuga de água na conduita.

Para determinar a pressão necessária no início de cada troço da rede de rega foi aplicado o teorema de Bernoulli. Segundo Daniel Bernoulli, para um líquido ideal ao longo de qualquer linha de fluxo, a soma da energia de posição (potencial gravítico), velocidade (cinética) e pressão é constante. Essa soma é designada por carga total. Uma fração desta carga total é transformada em outros tipos de energia durante o deslocamento de um fluido, definindo o termo "perda de carga". Assim, a equação de Bernoulli para perda de carga de um fluido real num tubo pode ser representada pela seguinte equação (Zitterell et al., 2014):

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

onde z é a cota geométrica (m), p/γ é a altura piezométrica (m), $v^2/2g$ é a altura cinética (m) e ΔH_T a perda de carga total (m) entre as 2 secções consideradas.

A perda de carga total, ΔH_T (m), pode ser decomposta em duas parcelas, o somatório das perdas de carga contínuas (m) e o somatório das perdas de carga localizadas (m):

$$\Delta H_T = \Delta H_C + \sum h_s \quad (14)$$

A perda de carga contínua (H_C , m) representa a energia dissipada ao longo do comprimento da conduita, admitindo-se que, em regime permanente uniforme, é uma função linear desse mesmo comprimento.

$$H_C = j \times L \quad (15)$$

em que j é a perda de carga unitária ($m \ m^{-1}$) e L o comprimento da conduita (m).

A perda de carga unitária (j, m) ou seja, a perda de energia por unidade de comprimento de tubagem, pode ser determinada por qualquer das fórmulas usuais da Hidráulica (e.g. Darcy-Weisbach, Chézy, Hazen-Williams, Colebrook-White, Manning-Strickler). Uma vez que em estudo estão tubos de polietileno de pequeno diâmetro (de 12 a 32 mm), um número de Reynolds entre 3000 e 100000, com um regime de escoamento turbulento liso, introduzindo o fator de atrito de Blasius, na equação de Darcy-Weisbach obtém-se (Cabello, 1987; Greco et al., 2008; Von Bernuth, 1990; Wang e Chen, 2020):

$$j = K \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (16)$$

com $K = 142216 \times 10^6$ quando o caudal de escoamento Q é expresso em $m^3 s^{-1}$ e d (mm) é o diâmetro das tubagens (Raposo, 1996).

No caso das rampas e porta-rampas é necessário multiplicar a perda de carga contínua por um fator de redução (factor de Christiansen, F) devido ao serviço no percurso. O fator de Christiansen, F , é dado por:

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad (17)$$

onde N é o número de saídas existentes ao longo das condutas e m o expoente da velocidade (adimensional). Nas rampas do pomar das macieiras foi usado o fator de redução F de 0,374 e um $m= 1,75$. Nas rampas do pomar de citrinos o valor usado para o fator de redução F foi 0,387, e um $m=1,75$ (Karmeli e Keller, 1975).

A perda de carga localizada (h_s, m) refere-se à perda de carga devida aos acessórios ou alterações das condutas (curvas, reduções, válvulas, etc). Por norma não se calculam uma a uma e considera-se que são uma percentagem da perda de carga contínua. Neste trabalho considerou-se que nas rampas e porta-rampas a perda de carga localizada é 10% da perda de carga contínua. Nas condutas principais relativas ao pomar de macieiras considerou-se uma percentagem de 5% da perda de carga contínua e nas condutas relativas ao pomar de citrinos admitiu-se uma percentagem de 10%. Esta diferença nas percentagens consideradas explica-se porque ao longo das condutas principais dos dois pomares não existe qualquer tipo de acessório, estas apenas diferem na quantidade de mudanças de direções, sendo a conduta principal do sector 5 (pomar de citrinos) mais sujeita a sofrer perdas de carga localizadas.

3.4 Caudal de ponta para o projeto do sistema

Com o objetivo de avaliar se o sistema era capaz de responder às necessidades hídricas das duas culturas, determinou-se o caudal de projeto do sistema de rega em estudo, através do cálculo das necessidades de rega de ponta das duas culturas. O caudal de projeto é normalmente determinado considerando as exigências hídricas de ponta que correspondem nestas culturas, em Portugal, ao mês de julho. As necessidades de rega das culturas são calculadas com base no balanço hídrico do solo, sendo este obtido através da conjugação entre os valores de precipitação e evapotranspiração (ET_c), considerando ainda a capacidade de armazenamento de água do solo e a eventual contribuição da toalha freática (Pereira, 2004).

3.4.1 Dados climáticos

Para o cálculo das necessidades hídricas de ponta utilizaram-se os dados mensais recolhidos na estação meteorológica de Lisboa-Tapada da Ajuda (Quadro 14), que foi considerada a mais representativa da área de estudo. Todos os dados meteorológicos (temperatura máxima e mínima, HR média, radiação solar, u_2) utilizados nos cálculos correspondem ao período 1951-1980.

Quadro 14- Identificação da estação meteorológica (Fonte: ipma.pt)

Nome	Número	Tipo	Latitude	Longitude	Altitude	Município
Lisboa-Tapada da Ajuda	762	Estação Automática Climatológica (EMA II)	38,70956111	-9,182825	62	Lisboa

Com base na informação recolhida na estação meteorológica de Lisboa-Tapada da Ajuda foi possível construir o respetivo diagrama ombrotérmico de Gausse, representado na Figura 17.

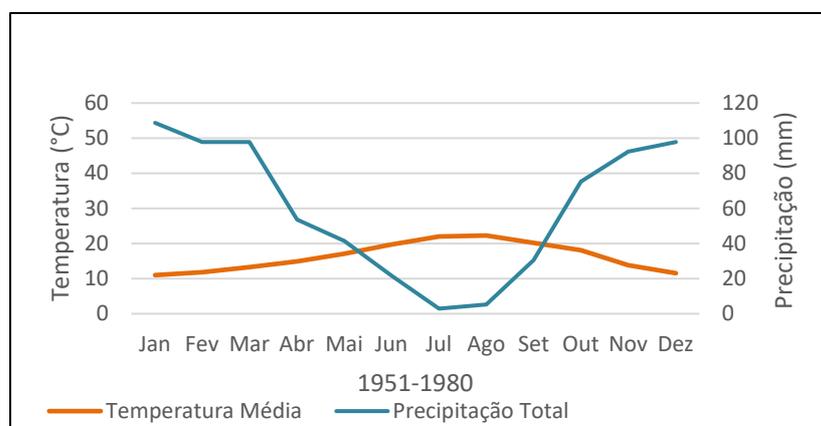


Figura 17- Diagrama Ombrotérmico para a Estação meteorológica de Lisboa/Tapada da Ajuda (1951-1980)

O diagrama mostra que o clima desta região do país se caracteriza por ser marcadamente mediterrânico, onde o Verão é quente e seco, estendendo-se entre final de maio e setembro. A precipitação total anual variou entre 406,8 mm e 1214,6 mm, estando concentrada sobretudo nos meses de inverno, sendo janeiro e dezembro os meses em que historicamente ocorre mais precipitação (na ordem dos 100 mm).

Para o período em estudo (1951-1980) existem algumas lacunas nos dados da estação relativas ao vento e à humidade relativa. Para preencher estas lacunas foi feita uma correlação usando o modelo MOVE (Grygier et al., 1989), que mantém a variância dos dados observados, tendo sido utilizados os dados da estação meteorológica do IPMA de Lisboa (Geofísico) para esse preenchimento.

3.4.2 Necessidades líquidas de rega da cultura

Para o cálculo das necessidades hídricas da cultura utilizou-se a metodologia adotada pela FAO baseada na equação de Penman-Monteith e nos coeficientes culturais simples apresentada na equação (9).

Numa primeira fase foi calculado o caudal para o mês de ponta da série de 30 anos (1951-1980), de modo a saber se o sistema tinha capacidade ou não de responder a esse caudal. De seguida foi calculado o caudal para o mês e ano em que se fez a avaliação, julho de 2020, de modo a avaliar se a rega efetuada no ano em que se recolheram os dados foi adequada.

Para realizar o cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o) utilizaram-se, primeiramente, os dados climáticos dos anos 1951-1980 para o mês de ponta (julho) e, de seguida, os dados climáticos do mês de julho de 2020.

Os coeficientes culturais (K_c) tabelados usados para as duas culturas foram os constantes no Quadro 15. No caso do pomar das macieiras, o $K_{c\text{mid}}$ foi calculado com base na aproximação de Allen e Pereira (2009) revista por Pereira et al. (2021), considerando uma fração de cobertura de 15% e uma altura das plantas de 2.5 m. Este valor pode variar mais ou menos 10% do valor que foi considerado (0.33-0.27), com base em Pereira et al. (2021).

Quadro 15- Coeficiente Cultural (K_c) das macieiras (Pereira et al., 2021) e citrinos (Rallo et al, 2021)

Macieiras		Citrinos	
$K_{c\text{mid}}$	$K_{c\text{end}}$	$K_{c\text{mid}}$	$K_{c\text{end}}$
0,3	0,3	0,55	0,65

Os valores iniciais do K_c não são considerados visto que estes correspondem a períodos curtos e dependem do regime de precipitação, sendo difícil a sua estimação para diferentes locais. Uma vez que os valores tabelados de $K_{c_{mid}}$ e $K_{c_{end}}$ se referem a condições climáticas de referência (velocidade do vento de 2 m/s e humidade relativa de 45%) foi necessário fazer o seu ajustamento para as condições climáticas da região em estudo segundo a metodologia de Allen et al. (1998):

$$Kc = Kc(\text{tabelado}) + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(RH_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (18)$$

onde Kc são os valores do coeficiente cultural ajustado, $Kc(\text{tabelado})$ os valores do coeficiente cultural tabelado, u_2 a velocidade do vento a 2 m de altura ($m\ s^{-1}$), RH_{min} a humidade relativa mínima (%) e h a altura média da árvore. A partir desta equação obtiveram-se os valores de Kc ajustados para as duas culturas (Quadro 16):

Quadro 16- Coeficiente Cultural (K_c) ajustado ao clima

Macieiras		Citrinos	
$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$
0,28	0,28	0,49	0,59

Dado que o objetivo era calcular as necessidades hídricas para efeitos do projeto de rega, em que o período a ter em conta é o período de ponta, foi apenas utilizado valor do K_c do período intermédio ($K_{c_{mid}}$) para as duas culturas.

Para determinar a quantidade de água a aplicar nos dois pomares, foi seguida a metodologia recomendada pela FAO, onde a dotação de rega resulta da diferença entre a evapotranspiração (ET_c) da cultura e a precipitação efetiva (P_e), que, no período de ponta (julho), é frequentemente nula. Para as duas culturas, uma vez que se trata de pomares, optou-se pelo valor de $ET_c - P_e$ que corresponde à satisfação das necessidades de rega em 90 % dos anos. A probabilidade de ocorrência ou frequência empírica de Horton, $P(i)$, foi determinada a partir de (Oliveira, 1993):

$$P(i) = \frac{i}{(N + 1)} \quad (19)$$

onde i é a posição do valor na série de valores $ET_c - P_e$ ordenados por ordem crescente e N o número de valores na série. Por último, para determinar o caudal de ponta para projeto do sistema utilizou-se a seguinte formula:

$$Q_{proj} = \frac{ET_{C_{proj}} \times A \times 31}{Ef_{rega} \times T} \quad (20)$$

onde Q_{proj} é o caudal de projeto ($L s^{-1}$), $ET_{C_{proj}}$ a ET_c de projeto ($mm dia^{-1}$), A a área da parcela (m^2), Ef_{rega} a eficiência do sistema de rega (%) e T o tempo máximo disponível para rega em segundos (s).

4 Resultados e discussão

4.1 Avaliação da uniformidade de rega

Nos Quadros 17, 18, 19 e 20 estão expostos os valores dos volumes (mL), recolhidos em campo dos subsetores 3 a), 4 a), 4 b) e 3 b), respetivamente, e relativos à parcela do pomar de macieiras. Foram recolhidos os volumes, num intervalo de tempo de 1 minuto, de quatro emissores referentes a cada ponto de medição referidos na Figura , e feita a respetiva média.

Quadro 17- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 3 a)

Rampas Seleccionadas	Pontos de emissão na rampa	Volume de água recolhido em cada emissor (mL)				Média ± desvio padrão do volume recolhido em cada ponto de emissão (mL)
		Emissor 1	Emissor 2	Emissor 3	Emissor 4	
1	Início	37	38	37	37	37,25±0,43
	1/3	39	36	38	38	37,75±1,09
	2/3	38	37	38	38	37,75±0,43
	Final	38	38	37	37	37,50±0,50
4	Início	37	38	39	38	38,00±0,70
	1/3	38	38	38	37	37,75±0,43
	2/3	36	38	37	36	36,75±0,83
	Final	37	36	36	37	36,50±0,50
7	Início	38	38	37	38	37,75±0,43
	1/3	38	35	36	37	36,50±1,12
	2/3	40	37	38	37	38,00±1,22
	Final	37	37	35	34	35,75±1,30
10	Início	37	36	38	37	37,00±0,71
	1/3	39	39	38	37	38,25±0,83
	2/3	38	40	39	40	39,25±0,83
	Final	39	40	40	38	39,25±0,83

Quadro 18- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 4 a)

Rampas Seleccionadas	Pontos de emissão na rampa	Volume de água recolhido em cada emissor (mL)				Média ± desvio padrão do volume recolhido em cada ponto de emissão (mL)
		Emissor 1	Emissor 2	Emissor 3	Emissor 4	
11	Início	39	38	39	38	38,50±0,50
	1/3	39	39	38	38	38,50±0,50
	2/3	38	39	38	41	39,00±1,22
	Final	38	37	38	36	37,25±0,83
14	Início	37	38	37	38	37,50±0,50
	1/3	38	39	39	38	38,50±0,50
	2/3	40	38	37	39	38,50±1,12
	Final	38	38	38	37	37,75±0,43
17	Início	38	39	40	40	39,25±0,83
	1/3	39	38	38	39	38,50±0,50
	2/3	39	38	38	37	38,00±0,71
	Final	43	38	38	38	39,25±2,17
20	Início	40	41	40	40	40,25±0,43
	1/3	41	39	41	42	40,75±1,09
	2/3	41	40	40	39	40,00±0,71
	Final	39	39	40	37	38,75±1,09

Quadro 19- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 4 b)

Rampas Seleccionadas	Pontos de emissão na rampa	Volume de água recolhido em cada emissor (mL)				Média ± desvio padrão do volume recolhido em cada ponto de emissão (mL)
		Emissor 1	Emissor 2	Emissor 3	Emissor 4	
1	Início	39	38	40	39	39,00±0,71
	1/3	40	39	38	38	38,75±0,83
	2/3	39	38	38	41	39,00±1,23
	Final	39	38	38	39	38,50±0,50
4	Início	38	38	37	35	37,00±1,22
	1/3	38	37	38	37	37,50±0,50
	2/3	39	39	39	41	39,50±0,87
	Final	38	39	38	35	37,50±1,50
7	Início	41	38	37	39	38,75±1,48
	1/3	38	38	36	36	37,00±1,00
	2/3	38	39	39	40	39,00±0,71
	Final	39	37	30	36	35,50±3,35
10	Início	37	38	38	38	37,75±0,43
	1/3	39	41	39	39	39,50±0,87
	2/3	40	39	39	39	39,25±0,43
	Final	40	39	37	37	38,25±1,30

Quadro 20- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do subsetor 3 b)

Rampas Seleccionadas	Pontos de emissão na rampa	Volume de água recolhido em cada emissor (mL)				Média ± desvio padrão do volume recolhido em cada ponto de emissão (mL)
		Emissor 1	Emissor 2	Emissor 3	Emissor 4	
11	Início	38	38	38	37	37,75±0,43
	1/3	37	37	37	39	37,50±0,87
	2/3	38	39	39	38	38,50±0,50
	Final	38	37	37	38	37,50±0,50
14	Início	37	38	37	37	37,25±0,43
	1/3	39	39	38	36	38,00±1,22
	2/3	37	39	38	38	38,00±0,71
	Final	37	37	37	39	37,50±0,87
17	Início	39	41	45	43	42,00±2,24
	1/3	40	45	37	39	40,25±2,95
	2/3	53	46	38	39	44,00±6,04
	Final	36	39	39	43	39,25±2,49
20	Início	40	38	43	43	41,00±2,12
	1/3	36	37	39	38	37,50±1,12
	2/3	41	39	41	42	40,75±1,09
	Final	40	38	35	35	37,00±2,12

Os valores do volume médio, caudal médio, caudal médio do quartil inferior e os resultados do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade de Christiansen para o setor 3 e 4 do sistema de rega avaliado estão apresentados no Quadro 21. O valor do caudal médio em todos os subsectores está muito próximo do caudal específico de fabrico dos emissores, 2,3 L h⁻¹. Os dados obtidos em campo indicam, através dos valores de CUD e CUC, que o sistema de rega tem uma uniformidade excelente, segundo a classificação de ASAE (2001), mostrando haver uma excelente distribuição de água na área regada. Factos semelhantes foram observados por Mantovani (2001), Vicente et al. (2011) e Souza et al. (2006). Estes valores verificam-se uma vez que os gotejadores são autocompensantes, assegurando um caudal constante independentemente das variações de pressão ao longo das rampas. Outra razão será o facto de o pomar de macieiras ter sido plantado em 2016 e, assim, a rede de condutas e emissores referentes a estes dois sectores serem relativamente recentes. Pode-se ainda comparar os dois coeficientes de uniformidade utilizados (de distribuição e de Christiansen), verificando-se que, em todos os subsectores avaliados nesta parte, o CUD é sempre inferior ao CUC, tal acontece dado o coeficiente de uniformidade de distribuição ser mais sensível às variações de caudais, uma vez que são admitidos no cálculo 25% dos caudais de menor valor em comparação com o caudal médio,

enquanto no cálculo do coeficiente de uniformidade de Christiansen são considerados os desvios de todos os caudais em relação ao caudal médio (Bernardo, 2006).

Quadro 21- Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior ($q_{25\%}$); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) dos setores 3 e 4, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001)

Setor de Rega	V_m (mL)	q_m (L h ⁻¹)	$q_{25\%}$ (L h ⁻¹)	CUD (%)	CUC (%)	Classificação
Setor 3 a)	37,56	2,25	2,17	96,2	98,1	Excelente
Setor 3 b)	38,98	2,34	2,19	93,8	95,7	Excelente
Setor 4 a)	38,23	2,29	2,18	94,8	97,7	Excelente
Setor 4 b)	38,77	2,33	2,25	96,6	98,1	Excelente

No Quadro 22- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do setor 5 estão expostos os valores dos volumes (mL), recolhidos em campo no setor 5, num intervalo de tempo de 1 minuto, de quatro emissores referentes a cada ponto de medição referidos na (Figura), e a sua respetiva média.

Neste caso estão evidentes alguns valores atípicos (indicados por * e **), estes referem-se primeiramente na linha 4 aos dois primeiros emissores, que apresentam um volume bastante inferior aos restantes valores. Isto deveu-se ao facto de os emissores em causa serem diferentes dos restantes, de cor verde e com um caudal específico de 4 L h⁻¹. Não se sabe o porquê da instalação destes emissores neste local, mas provavelmente foi por distração de quem os instalou ou por falta dos emissores encarnados, indicados para este sistema. De seguida, a linha 11 apresentou vários emissores defeituosos e com fugas de água ao longo de todo o comprimento da rampa (Figura 18, Figura 19 e Figura 20). Tal pode ter acontecido por substituição de antigos emissores por estes, e por isso não estarem bem colocados, havendo mais probabilidade de ocorrer este tipo de situação. O facto de a emissão se fazer em jato e não em gota-a-gota mostra que a perda de carga que deveria ocorrer no emissor não está a ser feita adequadamente.



Figura 18- Emissor 1 no início da linha 11, que apresenta um caudal em jato e fuga de água



Figura 19- Emissor 1 a 2/3 do comprimento da linha 11, que apresenta uma fuga de água



Figura 20- Emissor 2 no final do comprimento da linha 11, que apresenta um caudal em jato e fuga de água

Quadro 22- Valores dos volumes de água (mL) recolhidos dos emissores em 1 minuto, no campo para avaliação do sistema de rega do setor 5

Rampas Selecionadas	Pontos de emissão na rampa	Volume de água recolhido em cada emissor (mL)				Média ± desvio padrão do volume recolhido em cada ponto de emissão (mL)
		Emissor 1	Emissor 2	Emissor 3	Emissor 4	
1	Início	147	144	139	140	142,50±3,20
	1/3	126	133	142	138	134,75±5,97
	2/3	136	141	144	139	140,00±2,92
	Final	141	141	142	130	138,50±4,92
4	Início	103**	104**	142	144	123,25±19,8
	1/3	147	138	146	147	144,50±3,77
	2/3	143	141	147	135	141,50±4,33
	Final	142	142	146	148	144,50±2,60
8	Início	131	140	142	143	139,00±4,74
	1/3	139	139	140	141	139,75±0,83
	2/3	151	139	138	136	141,00±5,87
	Final	140	146	142	140	142,00±2,45
11	Início	211*	203*	130	140	171,00±36,3
	1/3	135	132	137	145	137,25±4,82
	2/3	189*	138	134	137	149,50±22,9
	Final	138	575*	134	357*	301,00±182,12

*Emissores que apresentam fugas de água

**Emissores verdes com um caudal específico de 4 L h⁻¹

No Quadro 23 estão apresentados os valores do volume médio, caudal médio, caudal médio do quartil inferior e os resultados do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para o setor 5 do sistema de rega avaliado.

Neste setor o valor do caudal médio é mais elevado que o caudal específico de fabrico dos emissores ($8,2 \text{ L h}^{-1}$), na origem deste valor estão os emissores referidos anteriormente, que apresentavam uma fuga de água, debitando um caudal bastante superior em comparação com os restantes. No que toca aos resultados dos coeficientes de uniformidade CUD e CUC, estes indicam que o sistema de rega tem uma boa distribuição da água pela área regada, segundo a classificação da ASAE (2001). Em comparação com os sectores avaliados anteriormente (sector 3 e 4), este tem CUD e CUC bastante mais reduzidos (de aproximadamente menos 10 p.p.) devido à existência dos cinco emissores com fugas de água e também à presença de dois emissores com um caudal específico de fabrico bastante inferior aos restantes (emissores verdes com um caudal específico de 4 L h^{-1}). Estas ocorrências revelam-se também na diferença entre os dois coeficientes de uniformidade já que, ao contrário do que acontece com os coeficientes calculados para os sectores 3 e 4, o CUD é mais elevado em relação ao CUC. Isto acontece uma vez que o CUD tem em conta o caudal médio do quartil inferior, não estando incluídos os cinco emissores em que ocorrem as fugas de água, ao contrário do que acontece com o CUC, em que os desvios dos caudais de todos os emissores estão incluídos no cálculo.

Quadro 23- Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior ($q_{25\%}$); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do setor 5, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001)

Setor de Rega	V_m (mL)	q_m (L h^{-1})	$q_{25\%}$ (L h^{-1})	CUD (%)	CUC (%)	Classificação
Setor 5	151,13	9,07	7,75	85,5	84,9	Bom

Com o objetivo de obter valores mais consistentes e mais verídicos, calculou-se novamente os parâmetros utilizados nesta avaliação (V_m , q_m , $q_{25\%}$, CUD e CUC) sem incluir os valores atípicos dos sete emissores mencionados anteriormente. Verificou-se primeiramente, que o caudal médio está bastante mais de acordo com o caudal específico de fabrico ($8,2 \text{ L h}^{-1}$), e de seguida verificou-se um aumento substancial dos dois coeficientes de uniformidade (CUD e CUC), o que resultou na mudança de classificação de bom para excelente, segundo a ASAE (2001). Os resultados estão apresentados no Quadro 24.

Quadro 24 -Valores do volume médio (V_m), caudal médio (q_m), caudal médio do quartil inferior ($q_{25\%}$); Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do setor 5 sem os valores atípicos, e respetiva classificação de acordo com ASAE (2001)

Sector de Rega	V_m (mL)	q_m (L h^{-1})	$q_{25\%}$ (L h^{-1})	CUD (%)	CUC (%)	Classificação
Setor 5	139,88	8,39	7,97	95,0	97,3	Excelente

Uma vez que os emissores utilizados neste setor não são autocompensantes poderia existir uma maior variabilidade de caudais ao longo das rampas, devido às perdas de carga ao longo do percurso e resultado da obstrução de emissores (MARTINS et al., 2010; BUSATO et al., 2012). Nas Figuras 21, 22, 23 e 24 estão representadas as variações de caudal nos locais de medição em cada rampa avaliada (rampa 1, 4, 8 e 11) sem incluir os valores atípicos, o caudal médio do sector, caudal específico de fabrico e variação de cota ao longo de cada rampa. Pode-se observar que o desnível existente em cada rampa acaba por compensar as possíveis perdas de carga que poderia haver, verificando-se pouca variabilidade nos caudais observados.

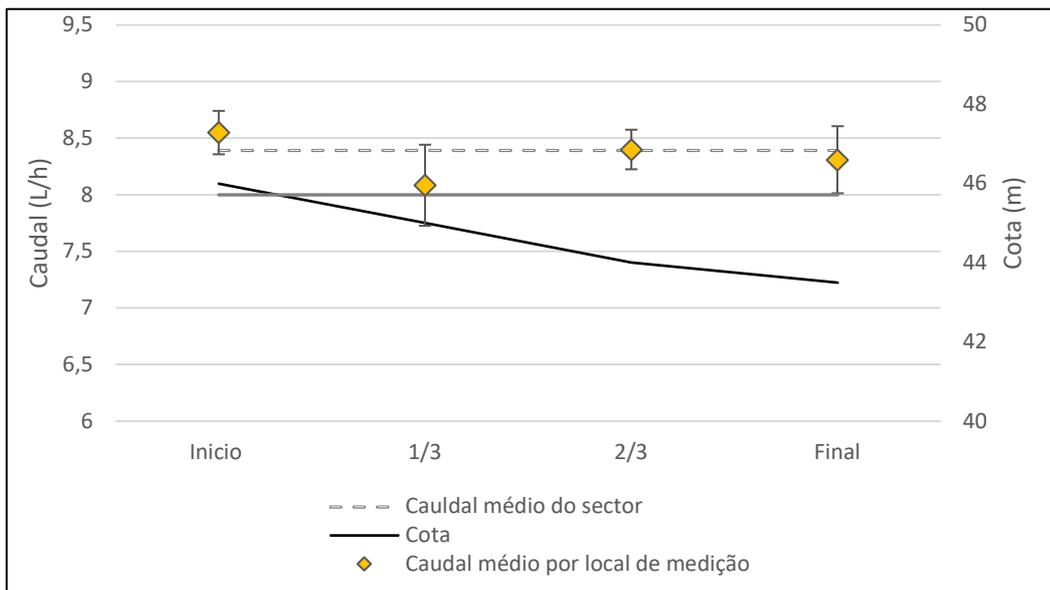


Figura 21- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 1. As barras representam o desvio padrão das observações

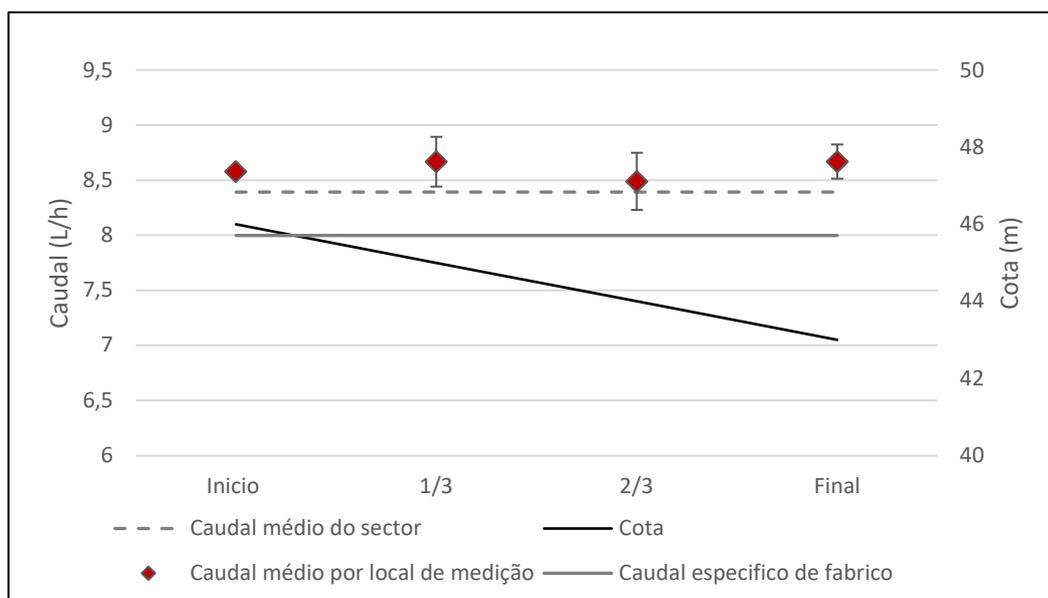


Figura 22- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 4. As barras representam o desvio padrão das observações

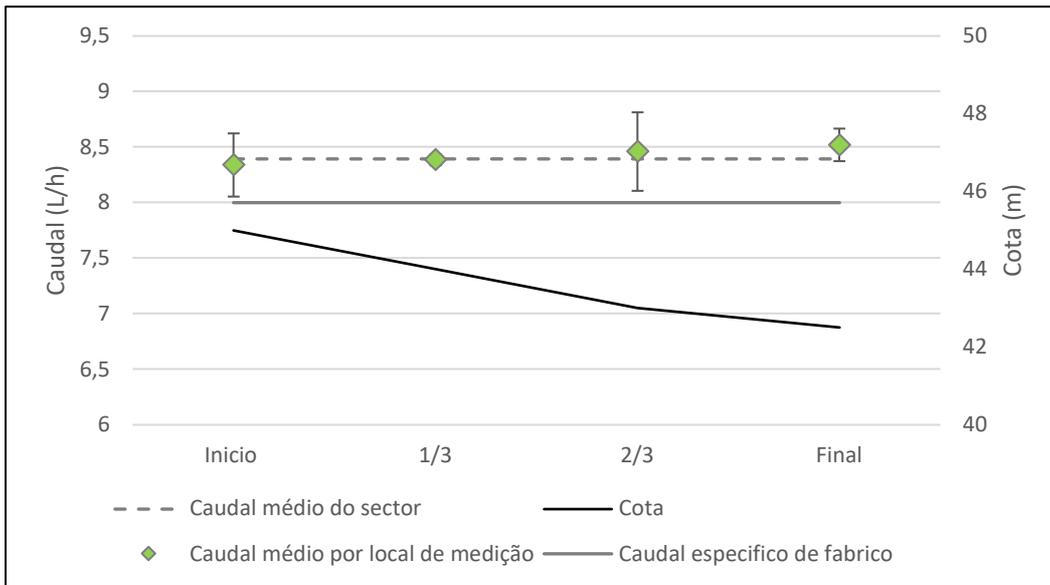


Figura 23- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 8. As barras representam o desvio padrão das observações

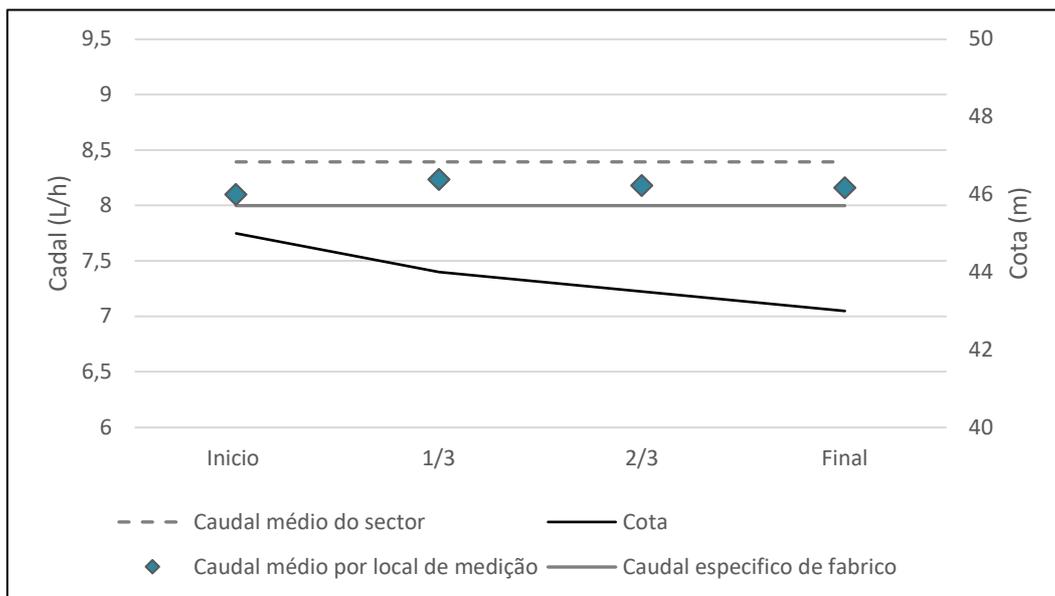


Figura 24- Variabilidade dos caudais por local de medição na rampa 11

4.2 Perdas de carga

No Quadro 25 e no Quadro 26 estão expostos os valores dos comprimentos (L), caudais (Q), diâmetros internos (d_{int}) e velocidades (v) de cada conduta relativa às linhas avaliadas, porta rampas e conduta principal dos setores 3 a), 4 a), 3 b), e 4 b) respetivamente e respetivos resultados das perdas de carga unitárias (j), contínuas (h_c), singulares (h_s) e totais (ΔH_T).

Quadro 25- Perdas de carga no final de cada conduta dos subsectores de cima 3 a) e 4 a).

Setor	Conduta	Troço	L (m)	Q (L h ⁻¹)	d_{int} (mm)	v (m s ⁻¹)	j (m m ⁻¹)	h_c (m)	h_s (m)	ΔH_T (m)
3 a)	Principal		37,91	2300	28,00	1,04	0,048	1,85	0,093	1,940
	Linha 10		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	10-9	4,00	2185	28,00	0,99	0,045	0,18	0,018	0,196
		9-8	4,00	2070	28,00	0,93	0,041	0,16	0,016	0,179
		8-7	4,00	1955	28,00	0,88	0,037	0,15	0,015	0,162
	Linha 7		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	7-6	4,00	1840	28,00	0,83	0,033	0,13	0,013	0,145
		6-5	4,00	1725	28,00	0,78	0,029	0,12	0,012	0,130
		5-4	4,00	1610	28,00	0,73	0,026	0,11	0,011	0,115
	Linha 4		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	4-3	4,00	1495	28,00	0,67	0,023	0,09	0,009	0,101
		3-2	4,00	1380	28,00	0,62	0,020	0,08	0,008	0,088
		2-1	4,00	1265	28,00	0,57	0,017	0,07	0,007	0,075
	Linha 1		25,00	115	14,20	0,20	0,065	0,06	0,006	0,067
4 a)	Principal		37,91	2300	28,00	1,04	0,049	1,85	0,093	1,940
	Linha 11		25,00	115	14,20	0,20	0,065	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	11-12	4,00	2185	28,00	0,99	0,045	0,18	0,009	0,187
		12-13	4,00	2070	28,00	0,93	0,041	0,16	0,008	0,170
		13-14	4,00	1955	28,00	0,88	0,037	0,15	0,007	0,154
	Linha 14		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	14-15	4,00	1840	28,00	0,83	0,033	0,13	0,007	0,139
		15-16	4,00	1725	28,00	0,78	0,030	0,12	0,006	0,124
		16-17	4,00	1610	28,00	0,73	0,026	0,11	0,005	0,110
	Linha 17		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
	Porta-Rampas	17-18	4,00	1495	28,00	0,67	0,023	0,09	0,005	0,096
		18-19	4,00	1380	28,00	0,62	0,020	0,08	0,004	0,084
		19-20	4,00	1265	28,00	0,57	0,017	0,07	0,003	0,072
	Linha 20		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067

Quadro 26- Perdas de carga no final de cada conduta dos subsectores de cima 3 b) e 4 b).

Setor	Conduta	Troço	L (m)	Q (L/ h)	$d_{int}(mm)$	$v (m s^{-1})$	$j (m m^{-1})$	$h_c (m)$	$h_s (m)$	$\Delta H_T (m)$	
3 b)	Principal	1	37,91	2300	28,00	1,04	0,049	1,85	0,185	2,04	
		2	25,00	1150	28,00	0,52	0,015	0,36	0,018	0,381	
	Linha 11		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
	Porta-Rampas	11-12	4,00	2185	28,00	0,99	0,045	0,18	0,018	0,196	
		12-13	4,00	2070	28,00	0,93	0,041	0,16	0,016	0,179	
		13-14	4,00	1955	28,00	0,88	0,037	0,15	0,015	0,162	
	Linha 14		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
	Porta-Rampas	14-15	4,00	1840	28,00	0,83	0,033	0,13	0,013	0,145	
		15-16	4,00	1725	28,00	0,78	0,030	0,12	0,012	0,130	
		16-17	4,00	1610	28,00	0,73	0,026	0,11	0,011	0,115	
	Linha 17		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
	Porta-Rampas	17-18	4,00	1495	28,00	0,67	0,023	0,09	0,009	0,101	
		18-19	4,00	1380	28,00	0,62	0,020	0,08	0,008	0,088	
		19-20	4,00	1265	28,00	0,57	0,017	0,07	0,007	0,075	
	Linha 20		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
	4 b)	Principal	1	37,91	2300	28,00	1,04	0,049	1,85	0,185	2,04
			2	25,00	1150	28,00	0,52	0,015	0,36	0,018	0,381
		Linha 10		25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067
		Porta-Rampas	10-9	4,00	2185	28,00	0,99	0,045	0,18	0,018	0,196
			9-8	4,00	2070	28,00	0,93	0,041	0,16	0,016	0,179
8-7			4,00	1955	28,00	0,88	0,037	0,15	0,015	0,162	
Linha 7			25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
Porta-Rampas		7-6	4,00	1840	28,00	0,83	0,033	0,13	0,013	0,145	
		6-5	4,00	1725	28,00	0,78	0,029	0,12	0,012	0,130	
		5-4	4,00	1610	28,00	0,73	0,026	0,11	0,011	0,150	
Linha 4			25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	
Porta-Rampas		4-3	4,00	1495	28,00	0,67	0,023	0,09	0,009	0,101	
		3-2	4,00	1380	28,00	0,62	0,020	0,08	0,008	0,088	
		2-1	4,00	1265	28,00	0,57	0,017	0,07	0,007	0,075	
Linha 1			25,00	115	14,20	0,20	0,006	0,06	0,006	0,067	

No Quadro 27 estão expostos os valores da variação de cota de cada conduta (Δz), os resultados das pressões necessárias à entrada (p_{ent}) e no final (p_{fim}) de cada conduta, as pressões medidas em campo no final de cada rampa avaliada dos sectores 3 e 4 (p_{medida}) e a diferença entre as pressões calculadas e medidas ($|p_{fim} - p_{medida}|$).

Pode-se constatar que, no caso do setor 3 a), a diferença entre as pressões medidas e calculadas é significativa (± 1 bar), podendo existir algum achatamento dos tubos devido à passagem dos tratores, alguma fuga não visível nas condutas enterradas ou curvatura no trajeto até às rampas que não pode ser identificada. Os restantes sectores não apresentam diferenças significativas entre a pressão calculada e medida, concluindo-se que não existem perdas de carga localizadas não contabilizadas ao longo das condutas.

Quadro 27- Pressão necessária à entrada e no final cada conduta do setor 3 e 4

Setor	Conduta	Δz (m)	p_{ent} (mca)	p_{fim} (mca)	p_{fim} (bar)	p_{medida} (bar)	$ p_{fim} - p_{medida} $ (bar)
3 a)	Principal	5,0	25,000	-	-	-	-
	Porta-Rampas	-1,0	28,057	-	-	-	-
	Linha 10	2,5	28,057	30,491	3,049	1,800	1,249
	Linha 7	2,5	27,446	29,879	2,988	1,800	1,188
	Linha 4	2,0	26,981	28,914	2,891	2,800	0,091
	Linha 1	2,5	26,641	29,075	2,907	2,000	0,907
4 a)	Principal	5,0	25,000	-	-	-	-
	Porta-Rampas	0,0	28,057	-	-	-	-
	Linha 11	2,5	28,057	30,491	3,049	3,200	0,151
	Linha 14	2,5	27,545	29,979	2,998	3,200	0,202
	Linha 17	2,0	27,173	29,106	2,911	3,200	0,289
	Linha 20	2,0	26,921	28,854	2,885	3,200	0,315
3 b)	Principal	7,0	25,000	-	-	-	-
	Porta-Rampas	0,5	29,584	-	-	-	-
	Linha 11	1,5	29,584	31,017	3,102	3,200	0,098
	Linha 14	2,0	29,085	31,018	3,102	3,200	0,098
	Linha 17	2,0	28,732	30,666	3,067	3,000	0,067
	Linha 20	2,0	28,506	30,439	3,044	3,500	0,456
4 b)	Principal	7,0	25,000	-	-	-	-
	Porta-Rampas	0,5	29,584	-	-	-	-
	Linha 10	1,5	29,584	31,017	3,102	3,000	0,102
	Linha 7	1,0	29,010	29,943	2,994	3,400	0,406
	Linha 4	1,0	28,582	29,516	2,952	3,200	0,248
	Linha 1	1,0	28,281	29,214	2,921	3,200	0,279

No Quadro 28 estão expostos os valores dos comprimentos (L), caudais (Q), diâmetros internos (d_{int}) e velocidades (v) de cada conduta relativa às linhas avaliadas, porta rampas e conduta principal do setor 5, e respectivos resultados das perdas de carga unitárias (j), contínuas (h_c), singulares (h_s) e totais (ΔH_T).

Quadro 28- Perdas de carga no final de cada conduta do setor 5

Setor	Conduta	Troço	L (m)	Q (L h ⁻¹)	d _{int} (mm)	v (m s ⁻¹)	j (m m ⁻¹)	h _c (m)	h _s (m)	ΔH _T (m)
5	Principal		257,00	1936,00	28,00	0,87	0,036	9,28	1,8600	11,100
	Linha 11		33,00	176,00	14,20	0,31	0,014	0,17	0,0170	0,187
	Porta-Rampas	11-10	5,00	1760,00	28,00	0,79	0,031	0,15	0,0076	0,160
		10-9	5,00	1584,00	28,00	0,72	0,025	0,13	0,0064	0,133
		9-8	5,00	1408,00	28,00	0,64	0,021	0,10	0,0052	0,109
	Linha 8		33,00	176,00	14,20	0,31	0,014	0,17	0,0170	0,187
	Porta-Rampas	8-7	5,00	1232,00	28,00	0,56	0,016	0,08	0,0041	0,086
		7-6	5,00	1056,00	28,00	0,48	0,013	0,06	0,0031	0,066
		6-5	5,00	880,00	28,00	0,40	0,009	0,05	0,0023	0,048
		5-4	5,00	704,00	28,00	0,32	0,006	0,03	0,0015	0,032
		Linha 4		33,00	176,00	14,20	0,31	0,014	0,17	0,0170
	Porta-Rampas	4-3	5,00	528,00	28,00	0,24	0,004	0,02	0,0009	0,019
		3-2	5,00	352,00	28,00	0,16	0,002	0,01	0,0005	0,010
		2-1	5,00	176,00	28,00	0,08	0,001	0,00	0,0001	0,003
	Linha 1		33,00	176,00	14,20	0,31	0,014	0,17	0,0170	0,187

No Quadro 29 estão expostos os valores da variação de cota de cada conduta (Δz), os resultados das pressões necessárias à entrada (p_{ent}) e no final (p_{fim}) de cada conduta, as pressões medidas em campo no final de cada rampa avaliada dos setores 3 e 4 (p_{medida}) e a diferença entre as pressões calculadas e medidas ($|p_{fim} - p_{medida}|$). Da mesma maneira que aconteceu nos setores 3 e 4, este sector também aparenta não ter perdas de carga localizadas não contabilizadas, uma vez que a diferença entre a pressão calculada e medida no final de cada rampa avaliada não é significativa, sendo até a pressão medida em campo superior à calculada.

Quadro 29- Pressão necessária à entrada e no final cada conduta do setor 5

Setor	Conduta	Δz (m)	p _{ent} (mca)	p _{fim} (mca)	p _{fim} (bar)	p _{medida} (bar)	p _{fim} - p _{medida} (bar)
5	Principal	6,0	25,000	-	-	-	-
	Porta-Rampas	0,0	20,866	-	-	-	-
	Linha 11	2,5	20,866	23,180	2,318	2,800	0,482
	Linha 8	2,5	20,464	22,778	2,278	2,800	0,522
	Linha 4	2,0	20,233	22,046	2,205	2,500	0,295
	Linha 1	2,5	20,201	22,514	2,251	2,500	0,249

De forma a confirmar se há ou não risco de rotura de alguma conduta, traçou-se a linha piezométrica para o percurso do sistema mais desfavorável (Figura 25), o percurso que vai desde a casa de rega até ao final da linha 4 do setor 5. No gráfico, a pressão máxima corresponde à maior distancia entre a linha piezométrica e a cota do terreno. Podemos verificar que o ponto onde existe uma maior pressão na tubagem ocorre aos 55 m (zona onde a conduta principal passa pelo pomar de macieiras), com uma pressão de 29,6 m. Quando a tubagem atinge aproximadamente os 290 m (início da linha 4) é onde se dá a pressão mais baixa (Figura 26). Uma vez que a pressão nominal das tubagens utilizadas é de 4 bars, confirma-se não haver risco de rebentamento por excesso de pressão

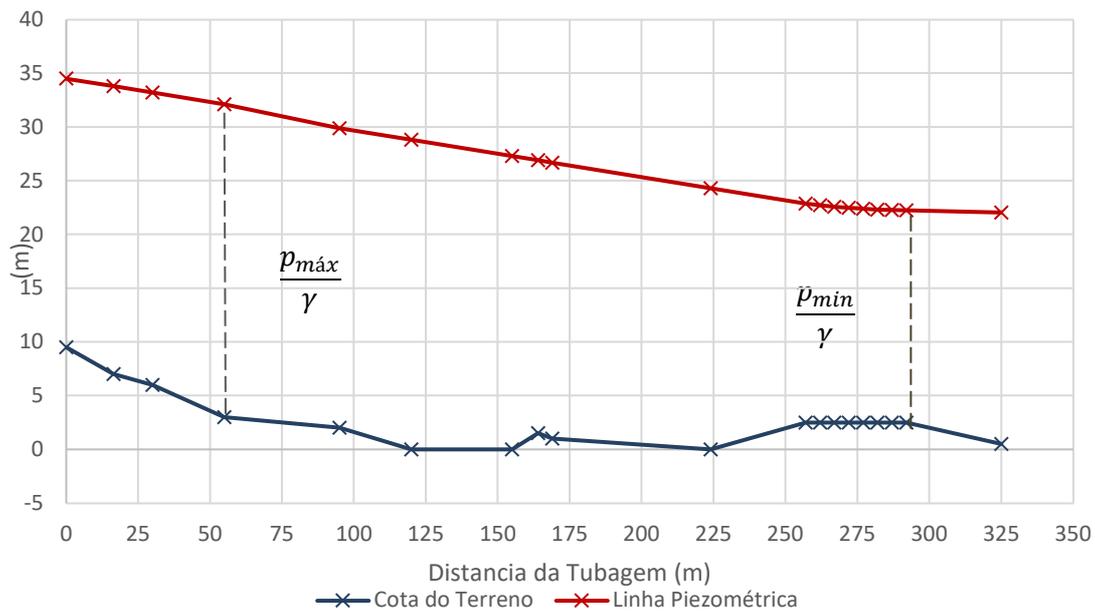


Figura 25- Linha Piezométrica

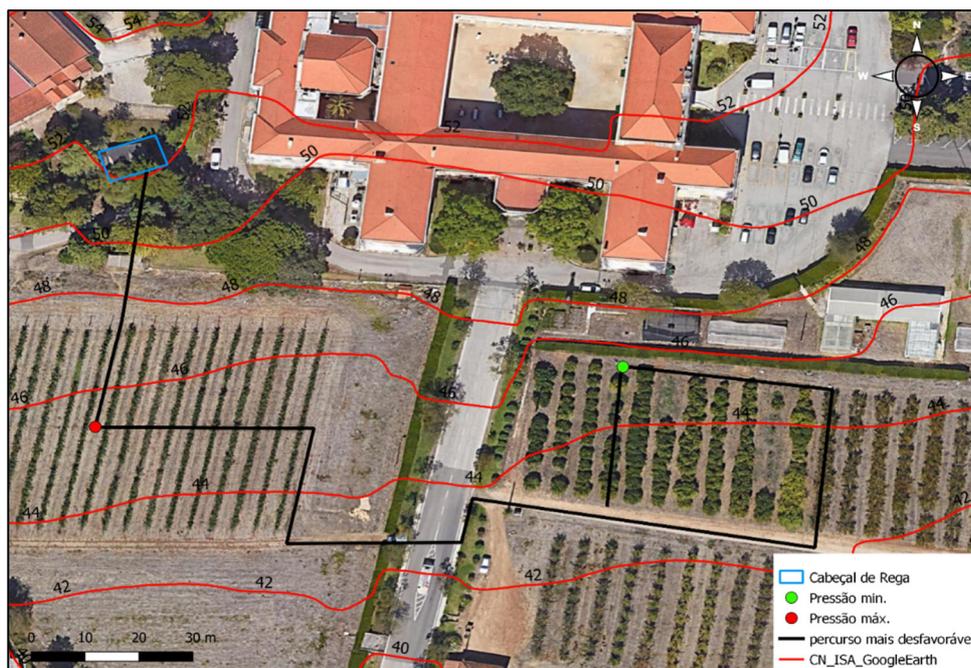


Figura 26- Percurso mais desfavorável

4.3 Caudal de projeto

No Quadro 30 e no Quadro 31 estão apresentados os valores calculados das necessidades líquidas de rega e caudal de projeto para o mês de ponta da série de anos de 1950 a 1980, para as duas parcelas em estudo. Os resultados evidenciam que, para todos os setores (3,4 e 5) e utilizando o calendário de rega existente, o sistema não tem capacidade para responder ao caudal de ponta uma vez que os valores para os quais o sistema está dimensionado são bastante inferiores (Quadro 13), o que pode prejudicar o desenvolvimento da cultura, apesar de apresentar boa uniformidade de aplicação de água. Fato semelhante foi observado por Reis et al. (2005).

Quadro 30- Caudal de projeto dos setores 3/4

Macieiras (setor 3/4)	
ET _c - P _e (mm dia ⁻¹)	1,85
Área (m ²)	2000
Eficiência rega	0,90
Tempo de rega por mês (horas) (TT)	38,00
Caudal de ponta (L s ⁻¹)	0,93
Caudal de ponta (L h⁻¹)	3361

Quadro 31- Caudal de projeto do setor 5

Citrinos (setor 5)	
ET _c - P _e (mm dia ⁻¹)	3,59
Área (m ²)	1815
Eficiência rega	0,90
Tempo de rega por mês (horas) (TT)	48,50
Caudal de ponta (L s ⁻¹)	1,29
Caudal de ponta (L h⁻¹)	4628

Ao alargar o número de regas para quatro vezes por semana, no caso do sector 3/4, pode-se verificar que o caudal de projeto para o qual o sistema está dimensionado (2300 L h⁻¹) já responde às necessidades de rega da cultura no mês de ponta (Quadro 32). No caso do setor 5 relativo ao pomar de citrinos, apenas com um total de 90 horas mensais (por exemplo regas de 5 h, cinco vezes por semana) seria possível responder às necessidades de rega da cultura através do caudal dimensionado inicialmente (Quadro 33). Assim, o que podemos concluir é que o sistema não está mal dimensionado, mas para responder às necessidades de rega das duas culturas no mês de ponta será necessário alterar o calendário de rega.

Quadro 32- Caudal de ponta dos setores 3/4 para um maior tempo de rega

Macieira (setor 3/4)	
ET _c - P _e (mm dia ⁻¹)	1,85
Área (m ²)	2000
Eficiência rega	0,90
Tempo de rega por mês (horas) (TT)	56,00
Caudal de Projeto (L s ⁻¹)	0,63
Caudal de Projeto (L h⁻¹)	2281

Quadro 33- Caudal de ponta do setor 5 para um maior tempo de rega

Citrinos (setor 5)	
ET _c - P _e (mm dia ⁻¹)	2,92
Área (m ²)	1815
Eficiência rega	0,90
Tempo de rega por mês (horas) (TT)	80,00
Caudal de Projeto (L s ⁻¹)	0,63
Caudal de Projeto (L h⁻¹)	2279

No Quadro 34 estão apresentados os valores da evapotranspiração cultural (ET_c) para o ano de 2020, o valor das necessidades líquidas de rega (ET_c - P_e) das duas culturas. Para comparação, no Quadro 35 está exposto o valor da dotação média mensal aplicada, em cada setor, em julho de 2020. É de notar que os valores das dotações aplicadas são, no caso do setor 5, bastante inferiores às necessárias para responder às necessidades hídricas da cultura no mesmo mês. No caso dos setores relativos às macieiras esta diferença não é tão significativa.

Quadro 34- Necessidades de rega para o mês Julho de 2020

	Macieiras	Citrinos
ET _c (mm dia ⁻¹)	1,61	2,82
ET _c -P _e (mm dia ⁻¹)	1,61	2,82

Quadro 35- Dotação média mensal aplicada em cada setor em Julho de 2020

Dotação média aplicada (mm dia⁻¹)	
Setor 3 a)	1,31
Setor 3 b)	1,38
Setor 4 a)	1,34
Setor 4 b)	1,38
Setor 5	1,31

5 Conclusões e recomendações

Com base nos resultados obtidos podemos concluir que, em relação à uniformidade de distribuição da água o sistema apresenta um desempenho excelente no caso da parcela das macieiras, enquanto no setor 5 a uniformidade de distribuição foi classificada como boa. Este último apresentava vários gotejadores com defeitos, em especial na linha 11, e dois localizados na linha 4 que tinham como caudal específico de 4 L h^{-1} (bastante inferior aos restantes gotejadores). Assim seria recomendável fazer uma substituição de todos estes gotejadores que se encontram em más condições, de modo a distribuição da água ser feita mais uniformemente. A identificação deste tipo de problemas é muito fácil dado que é feita visualmente e a sua resolução pode trazer, como mostrado, grandes melhorias no desempenho, pelo que deve ser um dos pontos a considerar em qualquer programa de manutenção do sistema.

No que toca às perdas de carga, os resultados permitem concluir que não existem perdas de carga localizadas não contabilizadas, em nenhum dos setores de rega, e que o desnível existente nas parcelas acaba por compensar as perdas de pressão ao longo do percurso. Fica também demonstrado que o projeto hidráulico não necessita de alterações. Com o traçado da linha piezométrica do percurso mais desfavorável foi possível concluir que não existe possibilidade de rotura de condutas, apesar das diferenças de cota e consequentes aumentos de pressão existentes.

Os resultados dos caudais de ponta demonstram que o sistema no ano de 2020 não foi gerido para satisfazer plenamente as necessidades de rega das culturas no mês de julho, mas existia essa possibilidade, devido à flexibilidade dos tempos de rega, podendo assim responder às necessidades de rega no mês de ponta. No ano de 2020 no pomar de macieiras, foi feita no mês de julho, uma rega deficitária, em que se regou menos 16% da evapotranspiração da cultura. No pomar de citrinos regou-se, no mês do julho do mesmo ano menos 54% da evapotranspiração cultural, sendo recomendável acrescentar mais um gotejador por árvore para satisfazer as necessidades rega desta cultura

Recomenda-se que, para uma melhor gestão da água nos pomares, seja feita uma manutenção frequente e sistemática do sistema de rega, uma supervisão periódica durante os dias de rega tendo em atenção possíveis entupimentos, e a realização do balanço hídrico numa base semanal (mínimo) para a condução da rega, ajustando assim as dotações às condições climáticas prevalecentes.

6 Referências Bibliográficas

- Abdulqader, A., Ali, M. (2017). Anti-clogging Drip Irrigation Emitter Design Innovation. European International Journal of Science and Technology. June 2013.
- Afonso, S., Ribeiro, C., Bacelar, E., Ferreira, H., Oliveira, I., Silva, A. P. & Gonçalves, B. (2017). Influence of training system on physiological performance, biochemical composition and antioxidant parameters in apple tree (*Malus domestica* Borkh .). *Scientia Horticulturae* 225(April), 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.07.037>
- AgroGes (2019). *Contributo para uma estratégia nacional para o regadio*. Lisboa, AgroGes
- AgroGes (2020). *Plano de Gestão Florestal: Tapada da Ajuda*. Lisboa, AgroGes
- Allen, R. G., Pereira, L. S. (2009). Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science* 28(1), 17–34.
- 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, Roma, Itália. 300pp.
- Arshad, I., 2020. Importance of Drip Irrigation System Installation and Management - A Review. *PSM Biol. Res.* 5(1): 22-29
- ASAE. (2001). Field evaluation of micro irrigation Systems. St. Joseph: In *ASAE Standard engineering practices*. 458, p.792- 797
- ASAE. (2014). Design and Installation of Microirrigation Systems. St. Joseph: In *ASABE Standards*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bagarello V, Ferro V, Provenzano G, Pumo D (1997) Evaluating pressure losses in drip-irrigation lines. *J Irrig Drain* 123(1):1–7
- Ballester, C., Castel, J., Intrigliolo, D. S., Castel, J. R. (2013). Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation : yield components and fruit composition. *Irrigation Science* 333–341. <https://doi.org/10.1007/s00271-011-0311-3>
- Barragan, J., Bralts, V., Wu, I. P. (2006). Assessment of emission uniformity for micro-irrigation design. *Biosystems Engineering* 93(1), 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.09.010>
- Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Viçosa, mg: ufv, 2006. 62p.

- Boman, B.J.(1995). Effect of orifice size on microsprinkler clogging rates. *Appl.Engng.in Agric.*11(6):839-843.
- Bonfante, A., Manna, P., Mascellis, R. De, Basile, A., Buonanno, M., Cantilena, G., Esposito, A., Tedeschi, A., Michele, C. De, Belfiore, O., Catapano, I., Ludeno, G., Salinas, K. Brook, A. (2019). LCIS DSS — An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. *Agricultural Systems* 176(May), 102646. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102646>
- Bucks, D. A., Nakayama, F. S. Gilbert, R. . (1979). Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management* 2, 149–162.
- Bucks, D. A., Nakayama, F. S. Warrick, A. W. (1982). Principles, Practices, and Potentialities of Trickle (DRIP) Irrigation. In *Advances in Irrigation* (Vol. 1). Academic Press, INC. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-024301-3.50013-7>
- Busato, C. C. M.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Reis, E. F.; Busato, C. 2012. Dicloroisocianurato na prevenção do entupimento devido ao uso de águas ferruginosas em sistemas de irrigação por gotejamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v.33, n.1, p.49
- Cabello, F.P. (1987). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)*. 1.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 461p
- Cardoso, G, Frizzone JA, Rezende R (2008) Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. *Acta Sci Agron* 30(3):299–305
- Carr, M. K. V. (2012). The water relations and irrigation requirements of citrus (Citrus spp.): A review. *Experimental Agriculture* 48(3), 347–377. <https://doi.org/10.1017/S0014479712000038>
- Casadesús, J., Marsal, J., Girona, J. (2011). Automated irrigation of apple trees based on measurements of light interception by the canopy. *Biosystems Engineering* 8, 2–8. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.12.004>
- Clark, G. A., Haman, D. Z., Prochaska, J. F. Yitayew, M. (2007). 5. General system design principles. *Developments in Agricultural Engineering* 13, 161–220. [https://doi.org/10.1016/S0167-4137\(07\)80008-4](https://doi.org/10.1016/S0167-4137(07)80008-4)
- Christiansen, J.E. *Irrigation by Sprinkling*. California Agric. Exp. Bull. No. 570; Univ. of Calif.: Berkeley, CA, 1942; 94.

- Conceição, M. (2006). *Irrigação e fertirrigação de macieiras*. EMBRAPA-Circular Técnica, 71p.
- Cortez, N. (2021). Comunicação oral.
- Costa, J.B. *Caracterização e constituição do solo*. 29.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1979. 527p.
- De Sousa Fragoso, R. M., de Almeida Noéme, C. J. (2018). Economic effects of climate change on the Mediterranean's irrigated agriculture. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal* 9(2), 118–138. <https://doi.org/10.1108/SAMPJ-07-2017-0078>
- Dodd, I. C., Theobald, J. C., Bacon, M. A. Davies, W. J. (2006). Alternation of wet and dry sides during partial rootzone drying irrigation alters root-to-shoot signalling of abscisic acid. *Functional Plant Biology* 33(12), 1081–1089. <https://doi.org/10.1071/FP06203>
- Duarte, A. (2012). Breves notas sobre a citricultura portuguesa. *Agrotec* 3, 40–44.
- Duarte, A. (2017). *A citricultura portuguesa. Desafios e ameaças*. Voz do Campo
- El, N., Abouabdillah, A., Bouabid, R., Bouriou, M. Chaoui, M. (2018). Assessment of sustainable deficit irrigation in a Moroccan apple orchard as a climate change adaptation strategy. *Science of the Total Environment* 642, 574–581. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.108>
- Enciso-Medina, J., Multer, W. L. Lamm, F. (2009). Evaluation of old subsurface drip irrigation systems in Texas. *American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2009, ASABE 2009*, 8.
- Evans, R., Wu, I.-P. Smajstrala, A. G. (2013). Microirrigation Systems. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems, 2nd Edition*. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 633-683.
- Fallahi, E., Neilsen, D., Neilsen, G. H., Fallahi, B. Shafii, B. (2010). Efficient irrigation for optimum fruit quality and yield in apples. *HortScience* 45(11), 1616–1619. <https://doi.org/10.21273/hortsci.45.11.1616>
- FAO. (2011). *The State Of The World ' s Land And Water Resources For Food And Agriculture Managing systems at risk*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome and Earthscan, 285 pp.
- Fernández-Cirelli, A., Arumí, J. L., Rivera, D. Boochs, P. W. (2009). Environmental effects of

- irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean Journal of Agricultural Research* 69(SUPPL. 1), 27–40. <https://doi.org/10.4067/s0718-58392009000500004>
- Fereres, E., Soriano, M. A. (2006). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58:147–159
- Fragoso, R. Marques, C. (2009). Avaliação económica de tarifas de água no uso agrícola: Um estudo de caso no Sul de Portugal. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 47(3), 699–718. <https://doi.org/10.1590/S0103-20032009000300008>
- García-Tejero, I., Jiménez-Bocanegra, J. A., Martínez, G., Romero, R., Durán-Zuazo, V. H. Muriel-Fernández, J. L. (2010). Positive impact of regulated deficit irrigation on yield and fruit quality in a commercial citrus orchard [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, cv. salustiano]. *Agricultural Water Management* 97(5), 614–622. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.12.005>
- Gasque, M., Martí, P., Granero, B. González-Altozano, P. (2016). Effects of long-term summer deficit irrigation on “Navelina” citrus trees. *Agricultural Water Management* 169, 140–147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.028>
- García-Tejero, I., Jiménez, J.A., Muriel, J.L., Martínez, G., 2007. Planificación y desarrollo de estrategias de riego deficitario en una plantación de naranjos: influencia de la variabilidad espacial de las propiedades del suelo. In: Book of Abstracts XXV Congreso Nacional de Riegos, Pamplona Spain.
- Greco, G., Cardoso, G., Antônio, J. Rezende, R. (2008). Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 299–305.
- Grygier J. C., Stedinger J. R., Yin, H.-B., 1989. A generalized maintenance of variance extension procedure for extending correlated series. *Water Resources Research*, 25(3) 345-349
- Haman, D. Z. (2017). *Causes and Prevention of Emitter Plugging In Microirrigation Systems*. Department of Agricultural and Biological Engineering, UF/IFAS Extension, University of Florida, 1–11.
- Hanson, B. R., Šimůnek, J. Hopmans, J. W. (2006). Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agricultural Water Management* 86(1–2), 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.06.013>
- Heermann, D. F. Solomon, K. H. (2007). Efficiency and Uniformity. In *Design and Operation*

- of Farm Irrigation Systems* 5, 108-119 . ASABE, St. Joseph, MI, EUA.
- Hochmuth, G. (2017). Drip Irrigation. In *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture*, 5, 79-105. Elsevier, University of Florida, Gainesville, FL, United States
- Hutton, R. J. Loveys, B. R. (2011). A partial root zone drying irrigation strategy for citrus- Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management* 98(10), 1485–1496. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.010>
- INE. (2020). *Recenseamento Agrícola 2019- Resultados Preliminares* (pp. 1–16). INE- Instituto Nacional de Estadística.
- Jiménez, B., Arnell, N., Oki, T. Arnell, N. (2014). Freshwater resources. In *Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (Issue January). *Agricultural Water Management*, 203, 53-62, Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415379.008>
- Juana L, Rodrigues-Sinobas L, Losada A (2002a) Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: methodology. *J Irrig Drain* 128(6):376–384
- Karmeli, D. Keller, J. (1975). *Trickle Irrigation Design*. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corp., Glendora, CA.
- Keller, J., Bliesner, R. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Lamm, F. R., Ayars, J. E. Nakayama, F. S. (2007). *Microirrigation for Crop Production- Design, Operation, and Management* (1st ed.). Elsevier, 13 pp.
- Lampinen, B. D., Shackel, D.A., Southwick, S.M., Olson, B., Yeager, J.T. (1995) Sensitivity of yield and fruit quality of French prune to water deprivation at different fruit growth stages. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120, 139–147
- Li, Z., Yu, L., Li, N. A., Chang, L. Cui, N. (2018). Influence of Flushing Velocity and Flushing Frequency on the Service Life of Labyrinth-channel Emitters. *Water* , 10(11), 1630. <https://doi.org/10.3390/w10111630>
- Lord, J. M., Jmlord, J., Usda-ars, J. E. A. (2007). Evaluating Performance. In *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. ASABE St. Joseph, MI, EUA, 791-803.~
- Lovelli S, Perniola M, Ferrara A, Di Tommaso T (2007) Yield response factor to water (ky) and

- water use efficiency of *Carthamus tinctorius* L. and *Solanum Melongena* L. *Agr Water Manage* 92:191–201
- Mantovani, E. C. (2001). *Avalia: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada*. Viçosa, MG: UFV.
- Martins, C. C.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Reis, E. F. 2010. Aplicação de cloro orgânico no tratamento de tubogotejador utilizado na irrigação com água ferruginosa. *Acta Scientiarum, Agronomy*, v.32, n.1, p.1-?.
- Melo, C., Figueiredo, A., Costa, A., Portugal, J., Oliveira, P., Figueiredo, R. & Trindade, S. (2019). *Manual de Boas Práticas de Fruticultura*. 72.
- Merriam, J. L., Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. 271pp.
- Mpelasoka, B. S. Behboudian, M. H. (2001). Water use , yield and fruit quality of lysimeter-grown apple trees : responses to deficit irrigation and to crop load. *Irrigation Science* 20, 107–113. <https://doi.org/10.1007/s002710100041>
- Muñoz-Carpena, R. Dukes, M. D. (2020). *Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Vegetable Crops*. Department of Agricultural and Biological Engineering, *UF/IFAS Extension*, 1–5.
- Muriel, J.L., Jimenez, J.A., Garcí'a-Tejero, I., Vaquero, I., 2006. Relaciones hidricas en una plantacion de naranjos (*Citrus Sinensis*, L. Cv Navelino) bajo estrategias de riego deficitario mantenido. In: Morales-Me´ndez D., Jimenez-Parrondo, M.S. (Eds.), VIII Simposium Hispano Portuguê's de Relaciones Hídricas en las Plantas. Tenerife Spain. 139–142
- Nagarajan, K. (2020). Optimization of Irrigation Scheduling under Different Types of Automated Drip Optimization of Irrigation Scheduling under Different Types of Automated Drip Irrigation System for Tomato. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9(7): 3315-3319. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.907.387>
- Nakayama, F. S., Boman, B. J. Pitts, D. J. (2007). Maintenance. In F. R. Lamm, J. E. Ayars, & F. S. Nakayama (Eds.), *Microirrigation for Crop Production*. Elsevier, 11, 389-430.
- Nakayama, F. S., Bucks, D. A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science* 12 (4), 187–192.

- Nakayama, F. S., Bucks, D.A. (1986). *Trickle Irrigation for Crop Production*. Elsevier Publishing, Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo. 383 pp.
- Navarro-Hellín, H., Martínez-del-Rincon, J., Domingo-Miguel, R., Soto-Valles, F. Torres-Sánchez, R. (2016). A decision support system for managing irrigation in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 124, 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.04.003>
- Nuncio, J. Arranja, C. (2017). Regadio: binómio água e energia. *Revista Recursos Hídricos*, 38(2), 17–23. <https://doi.org/10.5894/rh38n2-d2>
- O’Connell, M. G. Goodwin, I. (2007). Responses of “Pink Lady” apple to deficit irrigation and partial rootzone drying: Physiology, growth, yield, and fruit quality. *Australian Journal of Agricultural Research* 58(11), 1068–1076. <https://doi.org/10.1071/AR07033>
- O’Shaughnessy, S. Rush, C. (2014). Precision Agriculture : Irrigation. In *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Neal K. Van Alfen, 4, 521–535. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00235-7>
- Oliveira, I. (1993). *Técnicas de Regadio- Teoria e Prática Volume II* (1st ed.). Pentaedro.
- Oliveira, I. (2011). *Técnicas de Regadio - Teoria e Prática Volume I* (I. Oliveira (Ed.); 2nd ed.). P. Gráfica.
- Oliveira, I., Nunes, F. Fabião, M. (2003). *Guia de Rega- Avaliação da Rega Localizada*. Série *Guias de Rega*. COTR-Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio.
- Osroosh, Y., Peters, R. T. Campbell, C. S. (2016). Daylight crop water stress index for continuous monitoring of water status in apple trees. *Irrigation Science* 34(3), 209–219. <https://doi.org/10.1007/s00271-016-0499-3>
- Oster, J. . Wichelns, D. (2003). Economic and agronomic strategies to achieve sustainable irrigation. *Irrigation Science* 22, 107–120. <https://doi.org/10.1007/s00271-003-0076-4>
- Panigrahi, P., Raychaudhuri, S., Thakur, A. K., Nayak, A. K., Sahu, P. Ambast, S. K. (2019). Automatic drip irrigation scheduling effects on yield and water productivity of banana. *Scientia Horticulturae* 257, 108677. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108677>
- Paredes, P., Pereira, L.S., Almorox, J., Darouich, H., 2020. Reference grass evapotranspiration with reduced data sets: Parameterization of the FAO Penman-Monteith temperature approach and the Hargeaves-Samani equation using local climatic variables. *Agric Water Manage.* 240, 106210.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106210>

- Paredes, P., Trigo, I., de Bruin, H., Simões, N., Pereira, L.S., 2021. Daily grass reference evapotranspiration with Meteosat Second Generation shortwave radiation and reference ET products. *Agric Water Manage.* 106543 <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106543>
- Passioura J (2004) Increasing crop productivity when water is scarce from breeding to field management. In Proceedings of the Fourth International Crop Science Congress. Brisbane, Australia.
- Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Europa-América. Lisboa, 313 p.
- Pereira L.S., Trout T.J. (1997). Micro-irrigation, Part IV, Chap 1 of *Functioning of Hydraulic Structures and Monitoring of Irrigation* (Ed. By E. Persoons, D. Raes, L.S: Pereira, O. Yurdakul), Education Project -Water, EU/Univ.Cath. Louvain, Louvain-la-Neuve.
- Pereira, L. S., Trout, T. J. (1999). Irrigation Methods. In *CIGR Handbook of Agricultural Engineering* (Vol. I, pp. 297–379). ASAE, H. N. van Lier
- Pereira, L. S. (1999). Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. *Agricultural Water Management* 40(2–3), 153–169. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00118-8](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00118-8)
- Pereira, L. S., Alves, I. (2016). Estimativa da evapotranspiração e da transpiração das culturas em ambiente salino. In *Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. 19, 295-309. [http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/\(1\)](http://200.7.175.130/agroumsa/sites/default/files/repositorio/(1))
- Pereira, L. S, Cordery, I. Iacovides, I. (2012). Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. *Agricultural Water Management* 108, 39–51. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.08.022>
- Pereira, L. S. (2007). Necessidades De Agua e Programação Da Rega : Modelação, Avanços e Tendências. In *Taller CYTED - Riegos sobre “Modernización de Riegos y Uso de Tecnologías de Información”*, La Paz, Bolivia.
- 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. *Agric. Water Manage.* 252, 106663, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106663>
- Pereira, L. S. (2017). *Water , Agriculture and Food : Challenges and Issues*. *Water Resources*

Management 31, 2985–2999. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1664-z>

- Pereira, L. S, Oweis, T. & Zairi, A. (2002). Irrigation management under water scarcity. *Agricultural Water Management* 57(3), 175–206. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00075-6)
- Phene, C. J., Marlow, R., Prestwich, C., Robinson, P., Busch, J., Soffran, M., Sandoval, B., Nelson, L., Namken, C., Sampson, R. (2013). Microirrigation. In L. Owens, W. Pierce, & S. Self (Eds.), *Irrigation National Engineering Handbook* (Issue October). Natural Resources Conservation Service (NRCS).
- Pitts, D., Peterson, K., Gilbert, G. Fastenau, R. (1996). Field assessment of irrigation system performance. *Applied Engineering in Agriculture* 12(3), 307–313.
- Priyan, K., Panchal, R. (2018). Micro-Irrigation: An Efficient Technology for India's Sustainable Agricultural Growth. *ICRISET2017. International Conference on Research and Innovations in Science, Engineering & Technology. Selected papers in Civil Engineering Vol 1*, 398–402. <https://doi.org/10.29007/gbzv>
- Provenzano G, Pumo D (2004) Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals. *J Irrig Drain* 130(4):318–324
- Puig-Sirera, À., Provenzano, G., González-Altozano, P., Intrigliolo, D. S. Rallo, G. (2021). Irrigation water saving strategies in Citrus orchards: Analysis of the combined effects of timing and severity of soil water deficit. *Agricultural Water Management* 248. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106773>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.11.011>
- Rallo G., Paço T.A., Puig A., Paredes P., Massai R., Provenzano G., Pereira, L.S., 2021. Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agric. Water Manage.* 250, 106645, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106645>
- Ramos TB, Gonçalves MC, Martins JC, Pereira LS, 2016. *Características de Retenção de Água no Solo para Utilização na Rega das Culturas*. INIAV, Lisboa, 76 p.
- Raposo, R. J. (1996). *A Rega, Dos primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega*. Lisboa, 485pp

- Reis, E. F.; Barros, F. M.; Campanharo, M.; Pezzopane, J. E. M. 2005. Avaliação do desempenho de sistemas de irrigação por gotejamento. *Engenharia na Agricultura*, v.13, n.2, p.74-81,
- Rettore Neto O, Miranda JH, Frizzone JA, Workman SR (2009) Local head loss of non-coaxial emitters inserted in polyethylene pipe. *Trans ASABE* 52(3):729–738
- Robinson, T. L., Lakso, A. N., Lordan, J., Francescatto, P., Dragoni, D., Degaetano, A. T., Eggleston, K. (2017). Precision irrigation management of apple with an apple-specific Penman-Monteith model. *Acta Horticulturae* 1150, 245–250. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1150.34>
- Rodriguez-Sinobas, L. (2016). Water management strategies in irrigated areas. *Agricultural Water Management Journal* 2–5. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.014>
- Rodrigues G.C., Paredes P., Gonçalves J.M., Alves I., Pereira L.S., 2013. Comparing sprinkler and drip irrigation systems for full and deficit irrigated maize using multicriteria analysis and simulation modeling: ranking for water saving vs. farm economic returns. *Agric. Water Manage* 126, 85–96
- Roldán, J.C.(2007). Hacia el Riego Sostenible. Rede Interregional de Inovação Tecnológica em Agricultura de Regadio. Projecto INTERREG IIIA. Reunião Técnica. Badajoz
- Savva, A. . Frenken, K. (2002). Localized Irrigation Systems: Planning, Design, Operation and Maintenance. In *Irrigation Manual: Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation: Vol. IV*.
- Sietan Chieng, Ali Ghaemi. (2013). *Uniformity in a Microirrigation with Partially Clogged Emitters*. ASAE Paper No. 032097. St. Joseph, Mich.
- Smajstrla, A. G. Boman, B. J. (2002). Flushing Procedures for Microirrigation Systems. Design and Operation of Farm Irrigation Systems 1. 1–6.
- Smajstrla, A. G., Boman, B. J., Haman, D. Z., Pitts, D. J. Zazueta, F. S. (2018). *Field Evaluation of Microirrigation Water Application*. Agricultural and Biological Engineering Department, UF/IFAS Extension, 1–8.
- Souza, L. O. C.; Mantovani, E. C.; Soares, A. A.; Ramos, M. M.; Freitas, P. S. L. 2006.Avaliação de sistemas de irrigação por gotejamento, utilizados na cafeicultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.?41-?48.
- Souza, W. de J., Sinobas, L. R., Sánchez, R., Arriel, T. Duarte, R. (2014). Prototype emitter

- for use in subsurface drip irrigation: Manufacturing , hydraulic evaluation and experimental analyses. *Biosystems Engineering* 128, 41-51. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.09.011>
- Stoll, M., Loveys, B. Dry, P. (2000). Hormonal changes induced by partial rootzone drying of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany* 51(350), 1627–1634. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.350.1627>
- Tang, P., Li, H., Issaka, Z. Chen, C. (2018). Effect of manifold layout and fertilizer solution concentration on fertilization and flushing times and uniformity of drip irrigation systems. *Agricultural Water Management* 200, 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.01.010>
- Teixeira, J., Rolim O., 2014. *Impacte das alterações climáticas nos sistemas de regadio no Alentejo*. ISAPress, 150 p.
- Topak, R., Acar, B., Uyanöz, R. Ceyhan, E. (2016). Performance of partial root-zone drip irrigation for sugar beet production in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 176, 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.06.004>
- UN Water. (2021). Valuing water. In *Water Politics*. <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2021/>
- Vicente, M. R.; Mantovani, E. C.; Fernandes, A. L. T.; Vieira, G. H. S.; Sedyama, G. C.; Figueredo, E. M. 2011. Análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região oeste da Bahia. *Coffee Science*, v.6, n.2, p.147-178
- Von Bernuth, R. D. (1990). Simple And Accurate Friction Loss Equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 116(2), 294–298.
- Vermeiren, L. G. A. Jobling. 1983. *L'irrigation localisée*. Irrigation et Drainage 36. FAO. Rome
- Wang, J. Chen, R. (2020). An improved finite element model for the hydraulic analysis of drip irrigation subunits considering local emitter head loss. *Irrigation Science* 38(2), 147–162. <https://doi.org/10.1007/s00271-019-00656-0>
- Wertheim, S. J., Wagenmakers, P. S., Bootsma, J. H. Groot, M. J. (2001). Orchard Systems For Apple And Pear: Conditions For Success. *Acta Hortic.* 557, 209–227.
- Westwood MN (1993) *Temperate zone pomology: physiology and culture*, 3rd edn. Timber Press, Portland.
- Wichelns, D. Oster, J. D. (2006). Sustainable irrigation is necessary and achievable , but direct

costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management* 86, 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.014>

Yu, L., Li, N. A., Liu, X., Yang, Q., Li, Z. Long, J. U. N. (2019). Influence Of Dentation Angle Of Labyrinth Channel Of Drip Emitters On Hydraulic And Anti-Clogging Performance. *Irrigation and Drainage* 68 256–267. <https://doi.org/10.1002/ird.2304>

Zitterell, D. B., Frizzone, J. A. Rettore Neto, O. (2014). Dimensional analysis approach to estimate local head losses in microirrigation connectors. *Irrigation Science* 32(3), 169–179. <https://doi.org/10.1007/s00271-013-0424-y>

7 Anexos

Anexo I- Análise do solo das parcelas

Perfil - entre a Vinha e o Pomar de Macieiras

Prof. (cm)	AG ⁽²⁾ ----- g kg ⁻¹ -----	AF ⁽²⁾ ----- g kg ⁻¹ -----	L ⁽²⁾ ----- g kg ⁻¹ -----	A ⁽²⁾ ----- g kg ⁻¹ -----	pH		C ---- g kg ⁻¹ ----	N ---- g kg ⁻¹ ----	CaCO ₃ %	P Olsen ----- μg g ⁻¹ -----	P ext. ----- μg g ⁻¹ -----	K ext. ----- μg g ⁻¹ -----	C Elec dS/m	Ca ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	Mg ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	K ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	Na ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	CTC ----- cmol _c kg ⁻¹ -----	GSB %
					(H2O)	(KCl)													
(00-20/30)	154,02	375,59	283,42	186,98	7,32	5,83	13,66	1,18	0,37	23,74	61,68	216,20	0,0766	28,32	9,48	0,44	0,37	37,72	102,40
(20/30-40)	200,52	251,23	271,15	277,11	7,46	5,86	8,48	0,64	0,56	6,86	27,04	65,00	0,0388	28,72	9,28	0,12	0,28	38,50	99,78
(40-65/80)	-	-	-	-	7,80	5,94	4,46	0,30	0,46	2,96	33,62	64,60	0,0333	24,45	11,59	0,11	0,29	34,37	106,05

Anexo II- Análise da água de rega



Boletim nº 0267 / 2020

Departamento Ciências e Engenharia de Biosistemas - Química e Ambiente -

Ciente: **ISA** Data de entrada: **03/09/2020**
Código do cliente: **Tapada da Ajuda** Data de saída: **23/09/2020**
Tipo de amostra: **Água de rega** Cultura: **Não especificada**

Parâmetro	Resultado	Observações
pH	7,7	Sem restrições (GRAU 1).
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,70	Restrições ligeiras (GRAU 2).
Cloratos (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

Anexo III- Formulário para avaliação de um sistema de rega localizada (COTR)

1. Dados gerais

Observador:

Data:

Proprietário:

Localização:

Cultura: Profundidade da zona radicular: (m)

Estado fenológico: Data de sementeira ou plantar:

Compasso: (m) Entre linhas: (m)

2. Rega

Frequência: Volumes aplicados/Duração da rega:

Critérios usados para estimar as necessidades de água da cultura: _____

Método de controlo da rega (Tempo/Vc):

Data/Hora da última rega:

Observações: _____

3. Filtração e fertirrigação

Origem da água:

Tratamentos prévios:

3.1 Equipamentos e filtração

Elementos que constituem (nº e tipo):

3.1.1 Filtros de areia

Capacidade:

Tamanho das partículas:

Frequência (ou critério) da limpeza:

Data da última limpeza:

Pressão de entrada:

Pressão de saída:

Diferencial de pressão:

Aspecto geral. Observações: _____

3.1.2 Filtros de malha/anéis

Capacidade:

Nº Mesh:

Frequência (ou critério) da limpeza:

Data da última limpeza:

Pressão de entrada:

Pressão de saída:

Diferencial de pressão:

Aspecto geral. Observações: _____

3.1.3 Hidrociclone

Capacidade:

Aspecto geral. Observações: _____

3.2 Equipamentos de Fertirrigação

Descrição:
Número:
Capacidade:
Pressão de entrada:
Pressão de saída:
Diferencial de pressão:
Aspecto geral. Observações: _____

4. Equipamentos de Controlo, Regularização

4.1 Contadores

Número:
Diâmetro:
Localização:
Aspecto geral. Observações: _____

4.2 Regularização da pressão

4.2.1 No cabeçal

Tipo de dispositivo:
Aspecto geral. Observações: _____

4.2.2 Na rede de rega

Tipo de dispositivo:
Aspecto geral. Observações: _____

4.3 Válvulas

4.3.1 Hidráulicas

Número:
Diâmetro:
Localização:
Aspecto geral. Observações: _____

4.3.2 Manuais

Número:
Diâmetro:
Localização:
Aspecto geral. Observações: _____

5 - Equipamentos de automatização do sistema

Descrição dos equipamentos (programadores, electroválvulas, etc), aspecto geral.

Observações: _____

6 - Laterais de Rega

Marca: _____

Tipo (PE, Tubo poroso, fita, e _____)

Diâmetro nominal (mm): _____

Comprimento (m): _____

Disposições em relação as linhas de cultura (um ou dois por linha de c/ _____)

Aspecto geral. Observações: _____

7 - Gotejadores

Marca: _____

Tipo (autocompensante, autolimpante, etc): _____

Coefficiente de variação de fabrico: _____

Caudal por gotejador (l/h) _____

Expoente de descarga (x) _____

Espaçamento na linha de gotejador _____

Nº de gotejadores por planta: _____

Aspecto geral. Observações: _____

8 - Sectorização da Rega

Nº de sectores _____

Superfície média por secto _____

Escalação da rega: _____

Nº de subsectores do sector avaliad _____

Observações _____

9 - Superfícies

Superfície de instalação: _____

Superfície do sector avali _____

Superfície do maior secto _____

Observações: _____

10- Esquemas do Cabeçal e da Rede de rega

11 - Volumes Recolhidos e Pressões Registadas nos Locais de Teste

11.1 Volumes recolhidos nos gotejados

Tempo de medição min

Localização do lateral no sub-sector	Localização do gotejador no lateral		
	À entrada do lateral	1/3 do comprimento	2/3 do comprimento
À entrada			
1/3 abaixo			
2/3 abaixo			
No final			

11.1 Pressões registadas

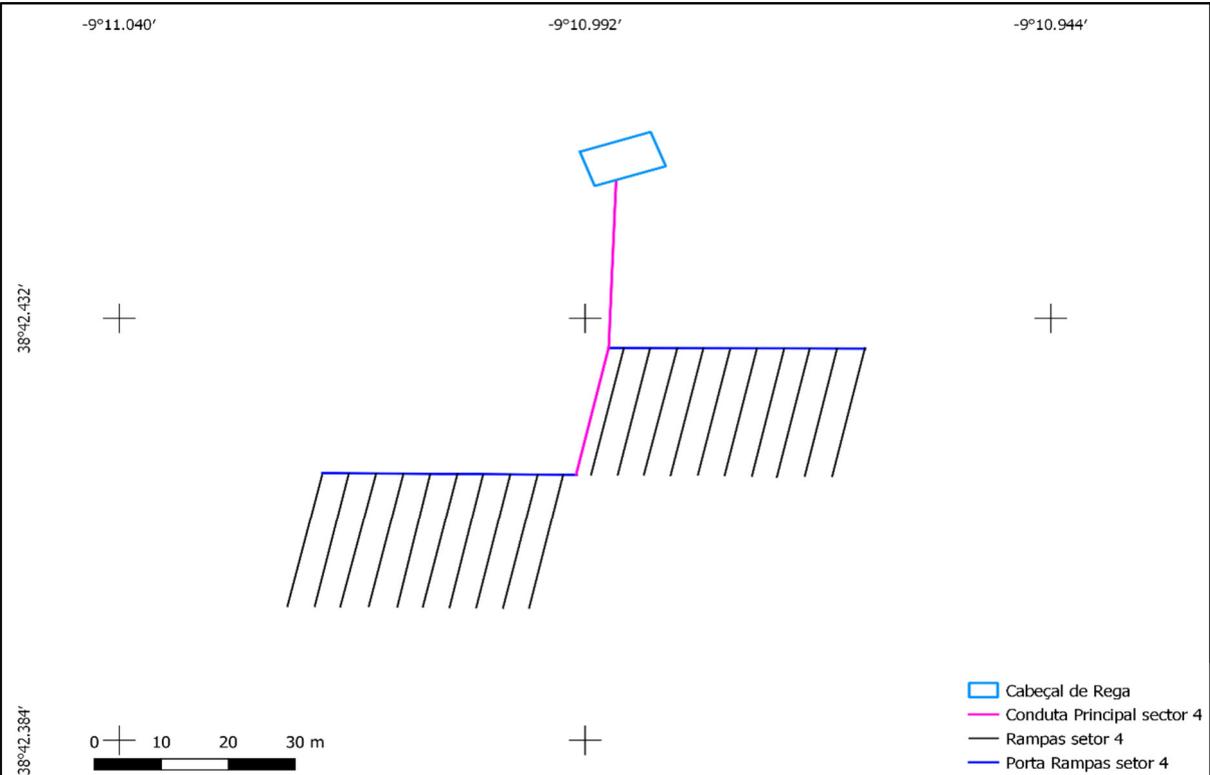
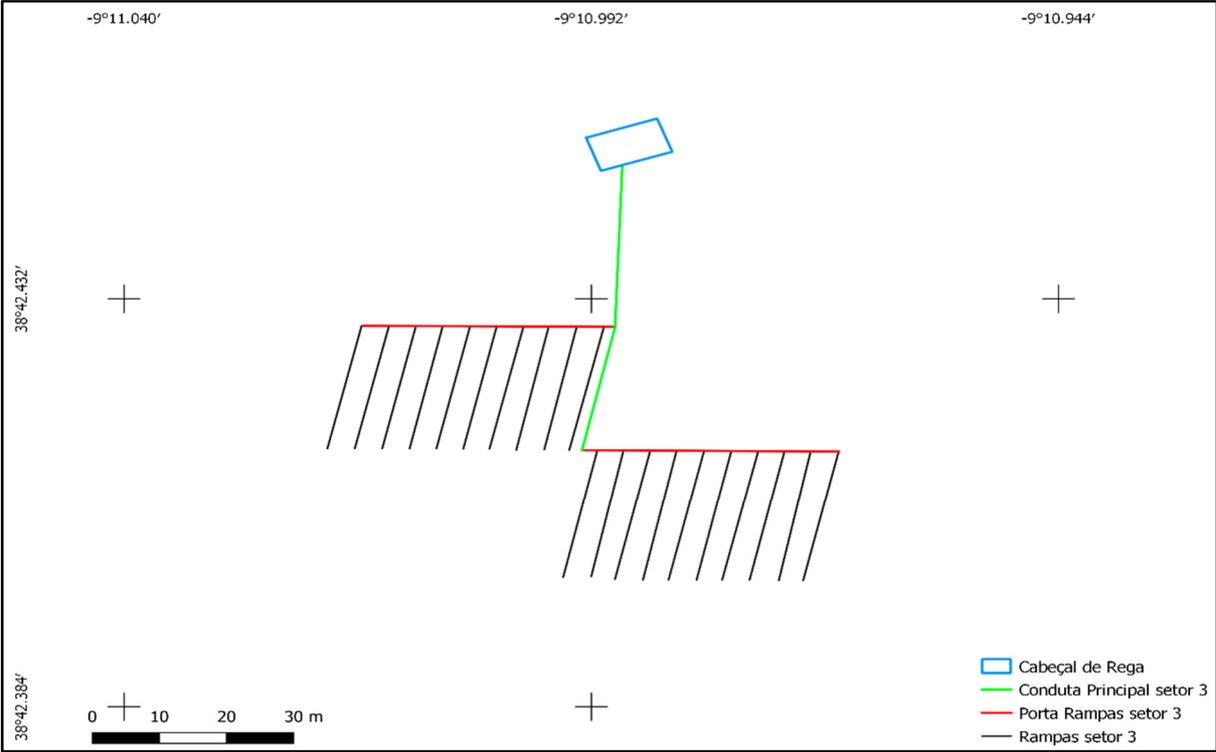
11.1.1 Nos gotejadores

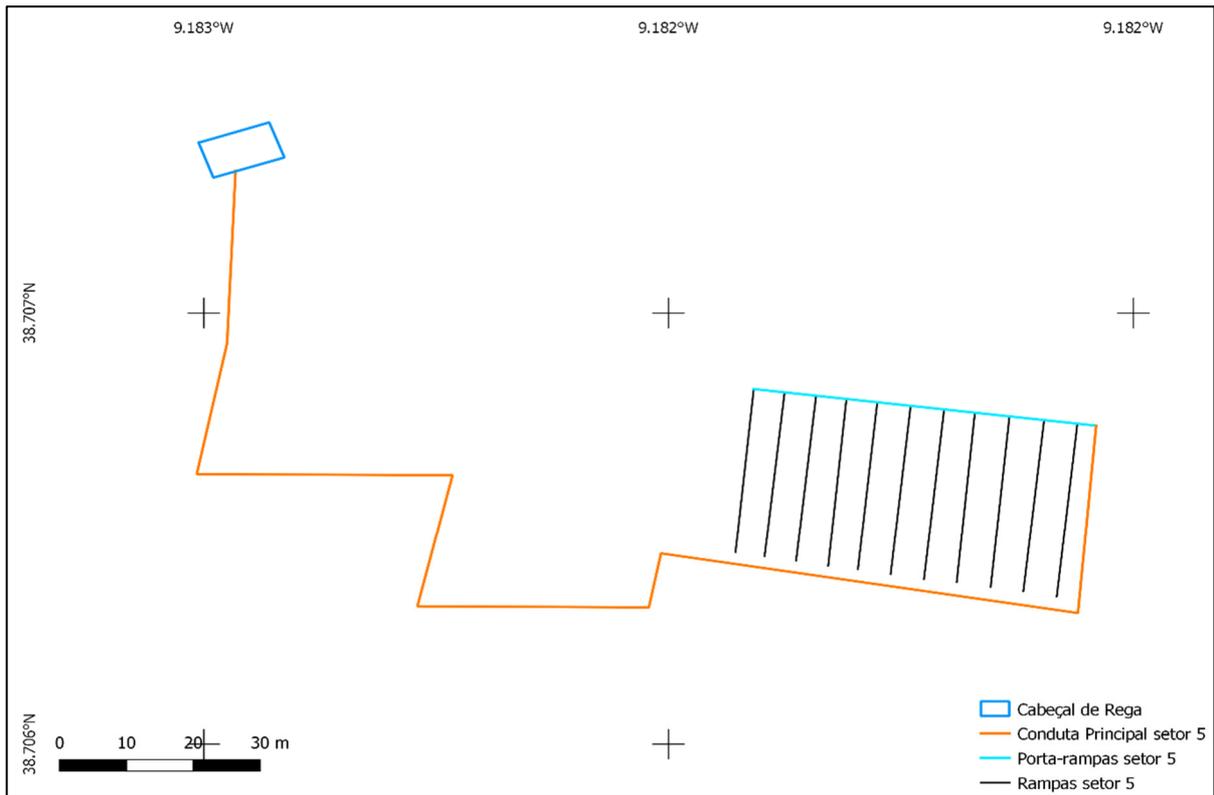
Localização do lateral no sub-sector	Localização do gotejador no lateral			
	À entrada do lateral	1/3 do comprimento	2/3 do comprimento	No final do lateral
À entrada				
1/3 abaixo				
2/3 abaixo				
No final				

11.1.2 Nos porta rampas ou tubagem terciária

Sub sector	Pressão mínima	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Anexo IV- Esquema das condutas dos setores 3, 4 e 5





Anexo V- Valores da evapotranspiração de referencia e evapotranspiração cultural das macieiras e dos citrinos para o mês de ponta (julho) para cada ano da série de 30 anos (1951-1980)

Ano	ET ₀	ET _c Macieiras	ET _c Citrinos
1951	5,06	1,41	2,68
1952	5,50	1,53	2,92
1953	5,98	1,67	3,17
1954	6,78	1,89	3,59
1955	5,15	1,43	2,73
1956	6,10	1,70	3,23
1957	7,02	1,96	3,72
1958	6,12	1,70	3,24
1959	6,06	1,69	3,21
1960	6,44	1,79	3,41
1961	6,99	1,95	3,71
1962	5,73	1,60	3,04
1963	5,85	1,63	3,10
1964	5,70	1,59	3,02
1965	5,72	1,59	3,03
1966	5,32	1,48	2,82
1967	5,36	1,49	2,84
1968	5,69	1,59	3,02
1969	5,82	1,62	3,08
1970	5,38	1,50	2,85
1971	4,62	1,29	2,45
1972	4,80	1,34	2,54
1973	5,07	1,41	2,69
1974	6,35	1,77	3,36
1975	5,79	1,61	3,07
1976	5,57	1,55	2,95
1977	4,49	1,25	2,38
1978	6,11	1,70	3,24
1979	5,15	1,44	2,73
1980	3,21	0,90	1,70

Anexo VI- Calendário de rega dos sectores de rega 3 (macieiras_1), 4 (macieiras_2) e 5 (citrinos)

BASE DE DADOS DAS REGAS

macieiras_1			macieiras_2			Citrinos		
Io	Ioo	Efic	Io	Ioo	Efic	Io	Ioo	Efic
100	100	90	100	100	90	100	100	90
Nsg	Nig	Lig	Nsg	Nig	Lig	Nsg	Nig	Lig
95	70	50	95	70	50	95	50	50
Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao	Dia	Mês	Dotacao
20	5	2	20	5	2	21	5	3
23	5	2	23	5	3	24	5	3
27	5	3	27	5	3	28	5	3
30	5	3	30	5	3	31	5	3
3	6	3	3	6	3	3	6	3
6	6	3	6	6	3	6	6	3
10	6	3	10	6	3	9	6	3
13	6	3	13	6	3	12	6	1,45
17	6	3	17	6	3	16	6	1,45
20	6	3	20	6	3	19	6	1,45
24	6	3	24	6	3	23	6	3,3
2	7	3	2	7	3	26	6	3,3
4	7	3	4	7	3	3	7	2
8	7	3,3	8	7	3,3	4	7	2
11	7	4	11	7	4	5	7	4
15	7	4	15	7	4	7	7	4,3
16	7	3	16	7	3	10	7	4,3
18	7	4	18	7	4	14	7	4,3
22	7	4	22	7	4	17	7	4,3
25	7	4	25	7	4	21	7	4,3
29	7	4	29	7	4	24	7	4,3
1	8	4	1	8	4	28	7	4,3
5	8	4	5	8	4	31	7	4,3
8	8	4	8	8	4	4	8	4,3
12	8	4	12	8	4	7	8	4
14	8	4	14	8	4	11	8	4
18	8	4	18	8	4	15	8	4
21	8	4	21	8	4	19	8	4
25	8	4	25	8	4	22	8	4
28	8	3,3	28	8	3,3	26	8	4
1	9	3,3	1	9	3,3	29	8	4
4	9	3,3	4	9	3,3	2	9	4
8	9	3,3	8	9	3,3	5	9	4
11	9	3,3	11	9	3,3	9	9	4
15	9	3,3	15	9	3,3	12	9	4
18	9	2	18	9	2	16	9	4
22	9	2	22	9	2	19	9	2
25	9	2	25	9	2	23	9	2
29	9	2	29	9	2	26	9	2
2	10	2	2	10	2	30	9	2
6	10	2	6	10	2	3	10	2