

Avaliação de dois sistemas de rega localizada

João Curvo Alves Pimenta

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Agronómica

Orientadores: Professora Associada Isabel Maria Cerqueira Lopes Alves
Professora Auxiliar Paula Cristina Santana Paredes

Júri:

Presidente: Maria do Rosário da Conceição Cameira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: José Luís Monteiro Teixeira, Professor Associado Jubilado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Paula Cristina Santana Paredes, Professora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Luís Miguel Leal Boteta, Técnico Superior do Centro Operativo e de Tecnologias do Regadio

2021

Por vontade do autor, esta dissertação encontra-se redigida segundo o antigo acordo ortográfico.

AGRADECIMENTOS

Às minhas orientadoras, Professora Isabel Alves e Professora Paula Paredes pelo apoio e aconselhamento em todas as fases da elaboração deste trabalho.

Ao Professor José Luís Teixeira, pelo apoio e disponibilidade em todas as questões relativas aos sistemas de rega das culturas e suas instalações.

Ao meu Pai, por me ter inculcido o gosto pela agricultura e por estar sempre disponível quando é preciso. À minha Mãe, por ter sempre uma palavra amiga nos dias menos bons.

Aos meus amigos e colegas Ana e Reis pela amizade, paciência e ajuda fundamental na elaboração deste trabalho. À Constança e ao Figueira por todo o companheirismo demonstrado ao longo destes 5 anos do meu percurso académico. A todos os meus amigos do ISA por toda a paciência, ajuda e disponibilidade.

Aos restantes amigos e colegas que, de alguma forma, directa ou indirectamente, contribuíram para que conseguisse concluir esta dissertação e a minha formação académica.

O meu obrigado, a todos!

RESUMO

O uso de sistemas de rega localizada é quase uma obrigação nos dias que correm, dada a cada vez mais escassa disponibilidade de água. A rega gota-a-gota é uma prática comum em culturas regadas, tendo como foco principal o uso eficiente da água e o aumento de produtividade.

O presente estudo decorreu em duas parcelas de culturas regadas, vinha e olival, onde estão instalados sistemas de rega localizada gota-a-gota, com a finalidade de avaliar a uniformidade de aplicação de água dos sistemas, assim como a adequação dos sistemas às necessidades de rega das culturas. Os indicadores de desempenho do sistema foram calculados durante a campanha de rega das culturas. Estes são influenciados pelo bom funcionamento e adequação de todos os componentes do sistema, nomeadamente do sistema de filtragem, que é fundamental na prevenção de entupimentos ao nível dos gotejadores. Na parcela com vinha – possuindo um sistema de automatismo – a uniformidade apresenta um valor muito baixo (entre 70 e 80%) relativamente ao que seria normal (>90%) num sistema de rega deste tipo; esta baixa uniformidade deve-se, sobretudo, a um problema de entupimentos ao nível dos emissores. Uma rotura na conduta principal de abastecimento de todo o sistema de rega, ocorrida durante o ensaio, interferiu nas suas normais condições de funcionamento, nomeadamente ao nível do caudal disponível para rega e pressões de funcionamento, o que também contribuiu para o reduzido valor da uniformidade. Na parcela de olival, em que todo o funcionamento é feito de forma totalmente manual, a uniformidade apresenta um valor dentro do expectável para emissores em linha contínua, isto é, acima de 90 %.

O problema ligado aos entupimentos revelou-se, então, o principal factor que levou a uma baixa uniformidade de aplicação no sistema de uma das parcelas.

Palavras-chave: Rega gota-a-gota, uniformidade de rega, vinha, olival, evapotranspiração cultural

ABSTRACT

The use of drip irrigation systems is almost an obligation these days, given the decreasing water availability. Drip irrigation is a common practice in irrigated crops, with the main focus on efficient use of water and increased crop productivity. The present study took place in an irrigated vineyard and an olive orchard, where drip irrigation systems are installed, aimed at assessing the uniformity of water application associated with the systems, as well as the suitability of the system to provide the irrigation water needs of the crops. The performance indicators of the system were measured during the crops irrigation season. These are influenced by the proper functioning and adequacy of all the components of the system, such as the filtration system that is a key factor in preventing clogging at the level of the drippers. In the vineyard's irrigation system - fully automated system - the uniformity presents a very low value (between 70 and 80%) for what would be expected in such an irrigation system (>90%); this low value was mainly due to a problem of clogging in the water network distribution. In addition, a rupture in the main supply line of the entire irrigation system interfered with its normal operating conditions, namely, with a decrease in the flow available for irrigation and in the operating pressures of the system, which also contributed to the reduced uniformity value. In the other irrigation system located in the olive orchard - in which all the operations are done manually – the uniformity has a value within what is to be expected, that is, above 90 % for drippers in continuous lines.

The problem related with drippers clogging proved to be the main factor that led to a low uniformity of application in one of the plots.

Keywords: Drip irrigation; irrigation uniformity, vineyard; hedgerow olive orchards; crop evapotranspiration

ÍNDICE

Agradecimentos	ii
Resumo.....	iii
Abstract.....	iv
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Quadros	viii
Lista de Símbolos.....	ix
Lista de Abreviaturas.....	x
1. Introdução	1
2. Revisão Bibliográfica.....	2
2.1. A rega gota-a-gota	2
2.2. Vantagens e desvantagens	2
2.3. Componentes do sistema.....	5
2.3.1. Cabeçal de rega e Unidades de regulação e controlo	5
2.3.2. Conduatas.....	8
2.3.3. Emissores	9
2.4. Aspectos a ter em conta para o dimensionamento.....	11
2.4.1. Selecção, localização e espaçamento dos emissores	11
2.4.2. Dotação de rega e capacidade do sistema	11
2.4.3. Solos	13
2.4.4. Quantidade e qualidade da água.....	13
2.5. Necessidades de manutenção dos sistemas.....	14
2.5.1. Limpeza de filtros	14
2.5.2. Limpeza de tubagens.....	14
2.5.3. Sistema de fertirrega.....	15
2.5.4. Problemas ligados ao entupimento dos emissores.....	15
2.5.5. Impactos na produção.....	16
2.5.6. Consumo de energia e resultado económico ao nível da parcela.....	17
3. Materiais e métodos	18

3.1.	Caracterização das parcelas	18
3.2.	Caracterização edafo-climática	19
3.3.	Caracterização dos sistemas de rega localizada.....	19
3.3.1.	Sistema de rega da vinha.....	19
3.3.2.	Sistema de rega do olival	26
3.4.	Indicadores de desempenho	27
3.5.	Avaliação do sistema	28
3.5.1.	Uniformidade de rega.....	29
3.5.2.	Cálculo da dotação média aplicada.....	32
	Avaliação das pressões.....	32
3.5.3.	Sistema de controlo	36
3.5.4.	Cálculo das necessidades líquidas de rega das culturas e do caudal de projecto	37
4.	Resultados e Discussão.....	40
4.1.	Avaliação da uniformidade de rega	40
4.2.	Pressão nas rampas	52
4.3.	Necessidades líquidas de rega das culturas e caudal de projecto.....	56
5.	Conclusões e perspectivas futuras.....	59
6.	Referências bibliográficas	62
7.	Anexos.....	i
	Anexo 1: Exemplo de formulário de avaliação da rega localizada utilizado no presente estudo.....	i
	Anexo 2: Valores de evapotranspiração de referência (ET _o) médios diários (Julho) e de precipitação, para o mês de ponta, de cada ano de uma série de 30 anos (1977-2006)....	vi
	Anexo 3: Valores de evapotranspiração cultural da vinha e do olival para o mês de ponta (Julho) de cada ano de uma série de 30 anos (1977-2006) (ordem crescente).....	vii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Parcelas em estudo: vinha (à esquerda) e olival (à direita).....	18
Figura 2: Configuração do cabeçal de rega.	21
Figura 3: Depósitos tronco-cónicos com 500 L de capacidade e circuito de ar comprimido que actua como agitador	22
Figura 4: 1- Bomba doseadora de pistão (D054-220 L/L T); 2- Sistema de retrolavagem Aquative Plus; 3- contador volumétrico; 4- Filtro de malha (TVL1”TLH-L-120 mesh); 5- Válvula manual.....	23
Figura 5: 1- Válvula de segurança; 2- Electroválvula; 3- Contador volumétrico principal do sistema; 4- Regulador de pressão 2000 11/2” 4 bar; 5 e 6- Manómetros de 10 bar; 7- Válvula anti retorno; 8- Filtro de discos AK DUAL RM 2”-120 mesh; 9. Bomba electromagnética doseadora de ácido.....	23
Figura 6: Filtro de malha de 3 mm série 18400 (Copersa, Espanha).	24
Figura 7: Automatismo AGRONIC 4000 (Progés, Espanha).....	24
Figura 8: Tubagens do sistema da vinha. 1- Válvula de entrada de ar. 2- Electroválvula. 3- Medidor de condutividade eléctrica. 4- Medidor de pH.	25
Figura 9 – Comprimento máximo das rampas para que a pressão mínima nas mesmas seja 0,5 bar (Fonte: Catálogo Netafim)	27
Figura 10 – Recolha dos caudais dos emissores.....	30
Figura 11: Medição das pressões, utilizando um manómetro	33
Figura 12: Esquema representativo das medições nas parcelas da vinha (à esquerda) e do olival (à direita). Os pontos encarnados representam as medições de caudais e os pontos brancos representam as medições das pressões.....	36
Figura 13: Limpeza do filtro de discos	37
Figura 14: Variabilidade dos caudais debitados pelos emissores na vinha.....	47
Figura 15: Variabilidade dos caudais debitados pelos emissores no olival	51
Figura 16: Necessidades hídricas das culturas tendo em conta a probabilidade de satisfação das necessidades de rega.....	56

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1: Classificação da qualidade dos emissores quanto ao seu coeficiente de variação de fabrico (Cv) (Fonte: Pereira, 2004)	10
Quadro 2: Dados técnicos das rampas do sistema da vinha	20
Quadro 3: Dados técnicos dos emissores do sistema da vinha	20
Quadro 4: Dados técnicos das rampas do sistema do olival.....	26
Quadro 5: Dados técnicos dos emissores do sistema do olival	26
Quadro 6: Classificação do sistema em função da uniformidade de distribuição (Fonte: Fernández et al., 2010)	32
Quadro 7: Valores de $K_{c\text{mid}}$ ajustados para a vinha	38
Quadro 8: Valores de $K_{c\text{mid}}$ ajustados para o olival.....	38
Quadro 9: Volumes recolhidos nos emissores durante 1 minuto, e pressões no fim das rampas da vinha, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos....	43
Quadro 10: Caudais recolhidos nos emissores ($L.h^{-1}$) e pressões no fim das rampas da vinha, assim como as médias dos caudais dos emissores nos vários pontos	45
Quadro 11: Volumes recolhidos nos emissores, durante 1 minuto, e pressões no fim das rampas do olival, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos	49
Quadro 12: Caudais recolhidos nos emissores ($L.h^{-1}$) e pressões no fim das rampas do olival, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos.....	50
Quadro 13: Volume médio recolhido (V_{med}), Caudal médio (q_{med}), Volume médio recolhido no quartil inferior (V_{min}); Caudal médio recolhido no quartil mínimo (q_{Min}), Uniformidade de distribuição (UD); e Dotação aplicada (D).....	52
Quadro 14: Valores médios medidos da pressão dos sistemas da vinha e do olival	53
Quadro 15: Perdas de carga calculadas para o sistema de rega da vinha	54
Quadro 16: Perdas de carga calculadas para o sistema do olival.....	55
Quadro 17: Comparação entre os valores das necessidades líquidas de rega para conforto hídrico e a dotação equivalente para as diferentes culturas	57
Quadro 18: Tempos de rega para conforto tendo em conta as necessidades hídricas das culturas	57

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área da parcela (m^2)

A_e – Área afectada por árvore (m^2)

CC – Capacidade de campo ($cm^3.cm^{-3}$)

CE – Coeficiente de emurchecimento permanente ($cm^3.cm^{-3}$)

C_v – Coeficiente de variação de fabrico (%)

D – Dotação média aplicada (mm)

ε – eficiência de rega (%)

ET_o – Evapotranspiração de referência ($mm.dia^{-1}$)

ET_c – Evapotranspiração cultural ($mm.dia^{-1}$)

UE – Uniformidade de emissão (%)

HR – Humidade relativa (%)

h – Altura das árvores (m)

H – Pressão de funcionamento do sistema (kPa)

K – Factor de débito (adimensional)

K_c – Coeficiente cultural (adimensional)

K_e – Coeficiente de evaporação da água do solo (adimensional)

K_{cb} – Coeficiente cultural basal (adimensional)

K_{cini} – Coeficiente cultural na fase inicial de desenvolvimento (adimensional)

K_{cmid} – Coeficiente cultural na fase média de desenvolvimento (adimensional)

K_{cend} – Coeficiente cultural na fase final de desenvolvimento (adimensional)

N – Número de emissores por planta (adimensional)

q – Caudal do emissor ($L.h^{-1}$)

q_{min} – Caudal mínimo calculado para a pressão mínima prevista na rampa ou no sector ($L.h^{-1}$)

q_a – Caudal médio projectado ($L.h^{-1}$)

q_{med} – Caudal médio calculado ($L.h^{-1}$)

q_{Min} – Caudal médio recolhido no quartil mínimo ($L.h^{-1}$)

q_p – Caudal de ponta ($L \cdot h^{-1}$)

TR – tempo de rega (h/mês)

UD – Uniformidade de distribuição (%)

u_2 – Vento medido a 2 metros de altura ($m \cdot s^{-1}$)

V_{med} – Volume médio recolhido (mL)

V_{min} – Volume médio recolhido no quartil inferior (mL)

$V_{\text{árvore/regá}}$ – Volume médio de água aplicada por árvore/regá (L)

x – Expoente característico do regime de escoamento do emissor (adimensional)

Z_{lq} – Altura média infiltrada no menor quartil da área regada (mm)

Z_{avg} – Altura média infiltrada na parcela (mm)

LISTA DE ABREVIATURAS

PE – Polietileno

PEHD – Polietileno de alta densidade

PELD – Polietileno de baixa densidade

PVC – Policloreto de vinilo

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho surge no contexto da Dissertação de Mestrado e constitui uma abordagem a um tema relevante na perspectiva do aprofundar de conhecimentos visando uma utilização sustentável da água de rega, considerando que se trata de um recurso de crescente importância numa agricultura sustentável. A este respeito, deve entender-se que é fundamental dispormos de conhecimento e tecnologia para uma racionalização na utilização dos recursos, no contexto das explorações agrícolas, onde a gestão da água surge em evidência. Acresce ao atrás referido o facto de o custo energético associado à utilização da água constituir uma componente importante da estrutura de custos de qualquer exploração, pelo que importa minimizar a sua utilização e aumentar a eficiência de aplicação, o que, desde logo, requer um conhecimento detalhado dos sistemas utilizados para a sua distribuição. Neste trabalho, tendo presente o anteriormente referido, foi efectuada a avaliação da uniformidade do sistema de rega implementado numa vinha de uva para vinho assim como num olival. Estes sistemas estão instalados no Instituto Superior de Agronomia, sito na Tapada da Ajuda, Lisboa, e a sua avaliação tem especial interesse tendo em conta não só a economia de água, mas também em termos de gestão das culturas, nomeadamente em termos do seu vigor. Na vinha, uma adequada gestão da rega permite a obtenção de uma elevada qualidade e quantidade de produção e, conseqüentemente, rendimento económico. A qualidade do vinho e do azeite dependem directamente de um sistema de rega adequadamente gerido e que tenha sido correctamente dimensionado. Estes, aliados a um sistema de fertirrega adequado, resultam em aumentos do nível nutricional das plantas, da sua produtividade e qualidade dos frutos.

O objectivo principal do presente estudo consiste na avaliação do projecto dos sistemas de rega, da sua gestão e manutenção. Como objectivos específicos incluem-se: (1) o diagnóstico do sistema através da determinação dos indicadores de desempenho, nomeadamente a uniformidade de distribuição de água do sistema; (2) identificação dos constrangimentos dos sistemas, nomeadamente em termos de adequação do projecto do sistema relativamente ao caudal de ponta; e (3) proposta de alterações e melhorias ao actual sistema e seu funcionamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A REGA GOTA-A-GOTA

Os sistemas de rega localizada caracterizam-se por permitirem aplicar apenas as quantidades de água necessárias às plantas (pequenas quantidades) na sua zona radicular, com elevada frequência, a pressão reduzida (Beltrão, 1979; Pereira, 2004; Evans *et al.*, 2007). A água é transportada sob pressão e aplicada lenta e directamente ao solo através de emissores (gotejadores), com valores de caudal geralmente compreendidos entre 2 e 10 L.h⁻¹. Este sistema pode ser instalado à superfície do solo ou enterrado, dependendo quer da cultura a regar como da decisão relativa ao investimento inicial. Favorece, ainda, as boas condições de arejamento e de humidade do solo (Medina San Juan, 2000; Evans *et al.*, 2007).

Os sistemas de rega gota-a-gota constituem uma das modalidades dos sistemas de rega localizada e caracterizam-se por humedecer apenas a parte do solo a utilizar pela planta, isto é, a sua zona radicular (Raposo, 1996; Burt *et al.*, 2000; Pereira, 2004; Solomon *et al.*, 2007). Estes sistemas são, principalmente, utilizados em regiões com disponibilidades de água limitadas e onde esta tem um custo bastante elevado. Quando bem dimensionados, instalados e geridos, conseguem minimizar o escoamento superficial com origem na rega e a erosão do solo associada a este fenómeno, aplicando eficiente e uniformemente fertilizantes solúveis em água e atingindo elevados valores de uniformidade e eficiência de aplicação (Bralts *et al.*, 1987; Burt *et al.*, 1997; Pereira, 1999; Hanson *et al.*, 2006; Evans *et al.*, 2007).

2.2. VANTAGENS E DESVANTAGENS

Quando bem geridos e mantidos os sistemas de rega localizada apresentam uma elevada eficiência de uso da água de rega e uma alta uniformidade de aplicação que são as suas principais vantagens, assumindo, a primeira, especial importância nas regiões com menores disponibilidades hídricas. O uso eficiente da água deve-se, sobretudo, à redução das perdas de água por evaporação directa do solo, uma vez que a superfície de solo humedecida é menor e a água é aplicada na zona sombreada pela planta, das perdas por escoamento superficial e ainda por percolação, devido ao rigoroso controlo das dotações fornecidas. Uma maior uniformidade de aplicação da água traduz-se num melhor controlo de distribuição de água, nutrientes, sais e químicos (Bralts *et al.*, 1987; Papadopoulos, 1996; Camp, 1998; Lamm & Camp, 2007; Phocaides, 2007a).

Estes sistemas, quando bem geridos e mantidos, permitem um aumento considerável na produtividade das culturas, uma vez que é possível manter o potencial de água no solo a níveis praticamente constantes e em valores que favorecem as condições de desenvolvimento

e de produção das culturas, sem criar problemas de falta de arejamento (Oliveira, 1993b). Também os nutrientes aplicados apenas nas quantidades necessárias às plantas com fertirrega contribuem para um aumento da produção (Papadopoulos, 1996; Camp *et al.*, 1997).

Uma vez que os emissores funcionam a pressões reduzidas, este tipo de sistema de rega apresenta custos e necessidades energéticas reduzidos quando comparado com outros, como, por exemplo, as rampas pivotantes e a aspersão fixa (Oliveira, 1993b; O'Brian *et al.*, 1998; Pereira, 2004; Lamm & Camp, 2007; Phocaides, 2007b; Pedras & Pereira, 2009; O'Brian *et al.*, 2010). Para isto não só contribui o facto de os emissores operarem a pressões reduzidas, mas também o facto dos sistemas requererem menos água e serem mais frequentemente automatizados (Pereira, 2004). Tal faz com que os custos energéticos nas contas de cultura sejam menores (Schwankl *et al.*, 1999; Romero *et al.*, 2006; Rodrigues *et al.*, 2013a, b; Darouich *et al.*, 2014).

Outra vantagem deste tipo de sistema é o facto de se poder utilizar em todos os tipos de solos, topografia do terreno e condições climáticas. Estes sistemas funcionam, sem inconvenientes de maior, quaisquer que sejam as condições atmosféricas como, por exemplo, com vento forte ou temperaturas extremas. A rega pode, também, ser realizada durante a noite, permitindo que as instalações trabalhem até quase 24 horas por dia. Isto traduz-se em reduções da potência necessária para os respectivos grupos motor-bomba e conseqüente redução dos consumos de energia (Papadopoulos, 1996; Raposo, 1996; Pereira, 2004; Phocaides, 2007a).

A rega localizada permite utilizar águas residuais tratadas ou água com salinidade, isto porque, como a humidade do solo na zona radicular é sempre elevada, devido ao fornecimento de água ser frequente ou contínuo, os potenciais hídricos no solo são baixos, o que reduz o risco de efeitos adversos devido à salinidade (Lamm, 2002; Raposo, 1996). Por sua vez, e uma vez que a quantidade de água aplicada na zona radicular é reduzida, também o é a quantidade total de sais comparativamente com outros sistemas de rega. Podem, ainda, ser utilizadas coberturas do solo com plástico ou com resíduos culturais de modo a reduzir a evaporação de água no solo e, conseqüentemente, reduzir o teor de sais à superfície do solo (Evans *et al.*, 2007). No entanto, em todos os casos há a necessidade de utilizar uma quantidade de água adequada à lixiviação dos sais (Minhas *et al.*, 2020).

A rega localizada possibilita realizar fertirrega. Trata-se de aplicar fertilizantes dissolvidos na água de rega e distribuídos pela rede do sistema de rega através dos emissores, junto à planta de modo a aumentar a eficiência de uso de fertilizantes e aumentar a produtividade das culturas (Wu *et al.*, 2019). Esta prática torna-se quase obrigatória neste tipo de rega, de modo a compensar o menor desenvolvimento radicular como consequência de se humedecer apenas parte do solo (Raposo, 1996).

A maior facilidade de realização de operações culturais é uma realidade porque mesmo com o sistema em funcionamento é possível realizar todas as operações necessárias às culturas. O facto de as entrelinhas não serem humedecidas facilita não só o trânsito de maquinaria agrícola como também o controlo de infestantes e o estado fitossanitário das plantas, uma vez que as infestantes e os agentes patogénicos não se desenvolvem como desenvolveriam se todo o solo fosse humedecido (Bralts *et al.*, 1987; Raposo, 1996; Lamm & Camp, 2007; Evans *et al.*, 2007; Phocaides, 2007a).

A economia de mão-de-obra é também de salientar, em virtude de as instalações serem fixas ou funcionarem como tal. A fácil instalação de automatismos permite controlar o sistema sem grandes custos em termos de mão-de-obra e com elevada flexibilidade (Oliveira, 1993a). O nível de automatismo pode chegar a ser total (Raposo, 1996; Pereira, 2004).

Por outro lado, este tipo de rega tem também algumas desvantagens. Os elevados custos de instalação (elevado investimento inicial) e custos de funcionamento e manutenção associados constituem o principal inconveniente (Raposo, 1996; Camp *et al.*, 1997; Lamm & Camp, 2007; Evans *et al.*, 2007; Pedras *et al.*, 2009).

Os problemas relacionados com os entupimentos dos emissores, em virtude de estes terem orifícios de saída bastante reduzidos, constituem uma desvantagem do sistema (Papadopoulos, 1996; Pereira, 2004; Evans *et al.*, 2007; Phocaides, 2007a). Estes têm tendência a entupir com detritos, impurezas, algas e precipitados transportados na água utilizada. Esta situação é minorada com a utilização de um sistema de filtragem adequado (FAO, 2007; Evans *et al.*, 2007). As características físicas (partículas em suspensão), químicas (composição química) e biológicas (tipo e população de microrganismos) da água de rega ditam o tipo de sistema de filtragem e o tratamento a ser realizado para prevenir entupimentos (Duran-Ros *et al.*, 2009).

A rega localizada limita o sistema radicular das plantas à zona habitualmente humedecida pelas regas (bolbo molhado), tendo como consequência um menor aproveitamento da água da chuva e da fertilidade do solo (Papadopoulos, 1996; Raposo, 1996; Lamm & Camp, 2007).

Em regiões áridas, a rega com águas salinas torna-se um problema, uma vez que os sais acumulados no solo não são eliminados pela água das chuvas como seriam noutras regiões, devido à escassez de precipitação (Raposo, 1996), sendo necessário considerar uma adequada fração de lixiviação para a lavagem destes sais (Minhas *et al.*, 2020). A concentração de sais junto da planta, devido ao uso de águas com elevados teores salinos e à sua aplicação para atingir uma adequada produção, pode atingir níveis considerados perigosos (Oliveira, 1993b).

Concluindo, os sistemas de rega localizada assumem-se como uma alternativa sustentável a longo prazo, devido ao seu potencial para maximizar a eficiência do uso de água na agricultura, assim como diminuir o gasto de energia (Schwankl *et al.*, 1999; Lamm & Camp, 2007; Rolim & Pedras, 2014).

2.3. COMPONENTES DO SISTEMA

Um sistema de rega localizada é, na sua forma mais completa, composto por uma fonte de abastecimento de água, um cabeçal de rega (central de bombagem, filtragem e automatismos), condutas (principal, secundária (porta-rampas), terciária (rampas), emissores (gotejadores)) e acessórios e peças complementares (manómetros, contadores, válvulas de corte, ventosas, válvulas de segurança, válvulas de retenção, reguladores de caudal, reguladores de pressão, etc.) (Oliveira, 1993b; Papadopoulos, 1996; Raposo, 1996; Pereira, 2004; Phocaides, 2007a). Nesta secção os diferentes componentes são brevemente descritos, sendo salientadas as necessidades de manutenção e como estas devem ser avaliadas.

2.3.1. CABEÇAL DE REGA E UNIDADES DE REGULAÇÃO E CONTROLO

CONTADORES VOLUMÉTRICOS – Estes são uma componente fundamental de qualquer sistema de rega moderno que permitem monitorizar os caudais reais de funcionamento do sistema.

ESTAÇÕES DE BOMBAGEM - Estas são idênticas a qualquer outro sistema. São quase exclusivamente utilizadas bombas centrífugas e motores térmicos (diesel) ou eléctricos. Estes últimos, para além de serem mais baratos e duradouros, acarretam menos despesas de manutenção e são mais indicados para os sistemas de regulação e automatização, geralmente usados nos sistemas de rega localizada (Papadopoulos, 1996; Raposo, 1996).

EQUIPAMENTO DE FILTRAGEM - É um dos componentes principais de um cabeçal de rega localizada e tem como função eliminar partículas e elementos indesejáveis em suspensão na água de rega que podem provocar entupimentos ao longo da rede de rega, principalmente nos emissores e, conseqüentemente, alterar a uniformidade de emissão do sistema (Fernández *et al.*, 2010). Este equipamento é particularmente relevante neste tipo de sistemas dada a elevada susceptibilidade de entupimento dos emissores quer por substâncias transportadas na água de rega (areias e partículas de sólidas, matéria orgânica, algas, etc) quer por formação de precipitados (águas calcárias ou fertirrega) (Papadopoulos, 1996; Pereira, 2004). São vários os tipos de filtros e cada um tem um propósito específico. Destacam-se os seguintes (Raposo, 1996; Pereira, 2004):

- a) Filtros de areia - destinam-se, fundamentalmente, a eliminar as matérias orgânicas e algas. São compostos por um depósito cilíndrico, geralmente em aço inoxidável, que

funciona sob pressão, tendo uma camada de gravilha e uma outra de areia, com granulometrias apropriadas para a quantidade e qualidade das impurezas transportadas pelas águas de rega utilizadas. A limpeza destes filtros faz-se normalmente por intermédio de um inversor, isto é, um dispositivo de funcionamento manual ou automático que permite inverter o sentido do fluxo de água, fazendo-a circular em sentido contrário no corpo do filtro e lançando para o exterior o efluente resultante, permitindo eliminar as sujidades por uma saída especial. Para isto, os filtros possuem válvulas apropriadas que comandam os circuitos em operação normal e em limpeza.

- b) Filtros de malha – destinam-se a completar a acção dos filtros de areia, eliminando as impurezas mais pequenas, inclusive as originadas pela fertirrega. Neste sentido, são instalados a seguir aos fertilizadores. São compostos por um reservatório cilíndrico metálico, com um ou dois elementos filtrantes, constituídos por um cilindro de malha metálica ou de nylon, com orifícios de diâmetros inferiores às dimensões das saídas dos emissores empregados. A limpeza destes filtros faz-se também à custa de um inversor, que funciona de modo análogo aos filtros de areia.
- c) Filtros de discos – dispostos em eixo longitudinal, são utilizados em alternativa aos filtros de malha. Quando apertados entre si, os discos formam um corpo cilíndrico filtrante. Tal como nos filtros de malha, a água circula do interior para o exterior e, aquando de uma limpeza, em sentido inverso. O grau de filtragem depende da qualidade da água de rega e é determinado pelo número de discos.
- d) Filtro de vórtice ou hidrociclone – este é menos frequente e é utilizado para remover da água material sólido disperso (partículas do solo) e é, geralmente, utilizado em conjunto com outro tipo de filtros. Trata-se de um corpo cónico vertical, mais largo no topo, com uma câmara no fundo para recolher o material filtrado. A câmara é drenada periodicamente. A água que vem da conduta entra tangencialmente pelo topo e escoase para baixo com uma grande velocidade angular. Esta velocidade de rotação leva a que as partículas sólidas se desloquem radialmente em direcção às paredes do filtro e transportadas para baixo, descrevendo uma trajectória em espiral em direcção à câmara colectora. A água limpa, ao atingir o fundo, muda de direcção e é escoada pelo eixo do filtro de regresso à conduta.

De uma forma geral, os filtros não resolvem completamente o problema do entupimento dos emissores, pelo que é de esperar que os sistemas de rega gota-a-gota tenham uma percentagem de emissores obstruídos ou que operam de maneira inadequada. No entanto, um sistema de filtragem adequado e eficiente pode reduzir consideravelmente o risco de entupimentos (Pereira, 2004), sendo por isso imprescindível proceder à adequada

manutenção dos filtros e verificação de possíveis entupimentos, a qual é apresentada mais a frente nesta dissertação.

CONTROLADORES E REGULADORES DE PRESSÃO E DE CAUDAL - Estes são necessários para garantir pressões e caudais constantes dentro do sistema, particularmente para diminuir a variabilidade de pressão em condições de terrenos declivosos ou de uma rede secundária grande (Pereira, 2004; Ella *et al.*, 2013).

Os reguladores de caudal funcionam por condicionamento da secção de passagem de água. Estes devem ser escolhidos consoante a gama de caudais que se prevê que circulem na secção onde são instalados e para a gama da pressão que se pode prever (Pereira, 2004).

Na generalidade das situações, é sempre necessária a existência de um regulador de pressão na unidade a montante da rede para evitar variações de pressão que ocorrem, frequentemente, nas redes de distribuição ou nas estações de bombagem. Normalmente, uma única parcela não requer mais que do um regulador de pressão na unidade a montante (Pereira, 2004).

VÁLVULAS - Estas podem ser de 3 tipos (Pereira, 2004):

- a) Válvulas de segurança - instaladas no extremo de montante do sistema, são utilizadas para evitar que a água, quando se corta o fluxo, que pode conter fertilizantes, volte para a bomba ou para o sistema principal de abastecimento.
- b) Válvulas de saída ou de purga de ar - devem localizar-se nos pontos mais altos do sistema, onde o ar tem tendência a acumular-se. São utilizadas para extrair esse ar, o qual não só provoca perturbações no escoamento como pode originar a deterioração das condutas. Em redes extensas, são necessárias várias válvulas de purga.
- c) Válvulas volumétricas - são a base da automatização dos sistemas e são programadas para permitir a passagem de um determinado volume de água, ou determinado caudal num certo período de tempo, fechando-se automaticamente depois. Estas válvulas volumétricas automáticas são escolhidas tendo em conta o volume de água e o caudal. O seu controlo pode ser feito através de sensores de pressão ou electricamente.
- d) Em vez destas, podem ser utilizadas válvulas temporizadas, as quais cortam o escoamento após um determinado período de tempo previamente programado. Também estas operam em sequência, fazendo com que a rega dos vários sectores funcione segundo uma determinada ordem.
- e) Válvulas hidráulicas – Podendo ser operadas hidráulicamente, em sequência, permitem minimizar as exigências de trabalho e melhorar a eficiência de aplicação de água.

AUTOMATIZAÇÃO - Incluem um conjunto de controladores/programadores ligados a válvulas automáticas que activam automaticamente sucessivos grupos de condutas secundárias (ou porta-rampas), de modo a controlar a aplicação das quantidades de água e fertilizantes desejadas nos sectores a regar (Raposo, 1996; Pereira, 2004). Segundo Raposo (1996), há 4 níveis de automatização Nível um – automatização parcial – a rega inicia-se de forma manual (abertura e fecho de válvulas) e termina de forma automática (válvulas volumétricas reguladas para deixarem passar volumes de água pretendidos para os diversos sectores da instalação); Nível dois – funcionamento sequencial – conjugação de válvulas volumétricas e hidráulicas, permitindo passar a rega de uns sectores para outros sem necessidade de intervenção humana; Nível três – comando à distância – baseia-se em electroválvulas (é necessária energia eléctrica no local) que ficam ligadas a um programador central, onde é possível programar o tempo de rega para cada parcela abrangida pela válvula respectiva; Nível quatro -automatização integral – a partir da indicação do teor de água do solo por meio de dispositivos (tensiómetros) que estabelecem contacto com o computador, o qual pode até determinar o funcionamento do sistema de fertirrega. Sistemas com maior nível de automatização permitem um controlo à distância através de um computador ou um telemóvel (telecontrolo).

SISTEMA DE FERTIRREGA - Trata-se de um sistema em que os fertilizantes são injectados na água de rega e distribuídos através da rede de rega (Wu *et al.*, 2019). Os tanques de fertilizantes servem para a injeção de fertilizante líquido na água de rega, assim como a eventual injeção de herbicidas, produtos fitossanitários e produtos químicos usados para evitar o entupimento dos emissores. A injeção pode ser efectuada de várias maneiras (Pereira, 2004):

- a) Recorrendo a uma bomba injectora;
- b) Através de injector Venturi;
- c) Por um sistema de diferencial de pressão, regulável pelo operador.

A utilização de um sistema de fertirrega pode poupar entre 50 a 70% de fertilizante e até mais de 50% de água quando comparada com a agricultura convencional e pode aumentar a produtividade das culturas (Yang *et al.*, 2020).

2.3.2. CONDUTAS

As tubagens constituintes de um sistema de rega formam uma rede composta por condutas principais, secundárias (porta-rampas) e terciárias (rampas) (Pereira, 2004). As rampas variam consoante a dimensão do terreno e a qualidade da instalação (Raposo, 1994, 1996). As condutas principais conduzem a água para as condutas secundárias e estas, por sua vez,

distribuem a água pelas condutas terciárias (Oliveira, 1993b; Burt *et al.*, 2000; Pereira, 2004; Phocaides, 2007a).

As condutas principais e secundárias são geralmente de plástico, polietileno (PE) ou policloreto de vinilo (PVC). As tubagens em PVC são, geralmente, enterradas, dado que este material é pouco resistente a condições climáticas adversas e a choques (Raposo, 1996). Por outro lado, o PE é indicado para as rampas colocadas à superfície, dado ter maior flexibilidade (Oliveira, 1993b). As rampas colocadas à superfície do terreno devem ser de cor preta, de modo a evitar o desenvolvimento de algas dentro das mesmas e, conseqüentemente, o favorecimento de entupimentos (Raposo, 1994, 1996). Sobre estas estão ligados os emissores (gotejadores) (Oliveira, 1993b).

2.3.3. EMISSORES

Os gotejadores são uma das componentes mais importante de toda a instalação de um sistema de rega, pois estão encarregues da aplicação da água à cultura. Um bom gotejador deve cumprir três requisitos (Raposo, 1994; Medina San Juan, 2000):

- 1) ter um débito reduzido, sensivelmente constante e pouco influenciado pelas variações de pressão;
- 2) pouco susceptível a entupimentos;
- 3) ter um coeficiente de variação de fabrico baixo (<0.05).

Quanto à rampa, os gotejadores podem ser montados: em linha, quando estes são instalados ao longo da rampa, tornando-se parte da mesma; em derivação directa, quando os gotejadores são instalados lateralmente em relação à rampa, isto é, fazendo um furo no tubo e introduzindo neste a extremidade do gotejador; ou em derivação externa, quando os gotejadores ficam à superfície ligados à rampa enterrada por um extensão/tubo adicional (Raposo, 1994, 1996; Pereira, 2004).

TIPO - Segundo Raposo (1994, 1996) e Pereira (2004), os gotejadores podem ser classificados relativamente ao modo como a carga hidráulica é dissipada e o tipo de escoamento resultante, podendo este ser laminar, turbulento ou parcialmente turbulento.

Gotejadores fixos são aqueles que não possuem quaisquer peças móveis. Têm, geralmente a característica de entupirem com facilidade. Cada modelo é, normalmente, caracterizado pelo seu caudal (Raposo, 1996).

Gotejadores auto-reguláveis (autocompensantes) fornecem um caudal mais ou menos constante quando a pressão varia dentro da gama de pressões para o qual o equipamento foi concebido (Raposo, 1996). Geralmente é utilizado um material com características elásticas

que altera a dimensão do orifício em função da pressão de funcionamento do sistema (Oliveira, 1993b). A sua utilização é aconselhada em encostas ou em terrenos com topografia acidentada (Pereira, 2004).

Gotejadores reguláveis definem-se por ser possível, dentro de uma certa gama, regular o caudal que debitam. São, portanto, gotejadores que podem ser trocados manualmente. A sua regulação é pouco prática e de resultados pouco seguros (Raposo, 1996).

EXPOENTE CARACTERÍSTICO DO REGIME DE UM EMISSOR - A relação caudal-pressão dos emissores é bem caracterizada através da equação característica do débito dos emissores (Keller e Blisner, 1990):

$$q = KH^x \quad (1)$$

em que q é o caudal do emissor ($L \cdot h^{-1}$), K é o coeficiente de descarga, que caracteriza o emissor, H é a pressão de funcionamento do sistema (kPa), e x é o expoente característico do regime de escoamento do emissor.

Baixos valores de x indicam pouca sensibilidade a variações de pressão, o que permite o uso de rampas longas ou de pequeno diâmetro, bem como em terrenos com declive acentuado e topografia irregular. Emissores autocompensantes de boa qualidade devem ter $x=0,1$ para a gama de pressão para as quais foram fabricados (Pereira, 2004; Pedras *et al.*, 2009).

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE FABRICO (CV) - Este constitui um indicador relativo à variabilidade dos caudais fornecidos por emissores novos, devendo ser disponibilizados pelos fabricantes os valores esperados para os C_v dos respectivos emissores (Keller & Bliesner, 1990; Pereira & Trout, 1999; Pedras & Pereira, 2009). Uma classificação da qualidade dos emissores baseada no seu coeficiente de variação é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Classificação da qualidade dos emissores quanto ao seu coeficiente de variação de fabrico (C_v)
(Fonte: Pereira, 2004)

Classificação	C_v
Emissores em linha contínua	
Boa a excelente	<0,10
Média	0,10 a 0,20
Má a inaceitável	>0,20

SENSIBILIDADE À TEMPERATURA - Existe a possibilidade de ocorrência de 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 fabrico dos emissores. Estes efeitos da temperatura podem ser consideráveis para rampas de PE expostas ao sol, as quais podem atingir aumentos de temperatura acima dos 20°C (Pereira, 2004). Clark *et al.* (2005) verificaram que em fitas gotejadoras a temperatura influencia o débito e a uniformidade de emissão do sistema.

SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO - Esta depende, principalmente, da menor dimensão para a passagem da água e da sua velocidade na passagem pelos orifícios de saída. Velocidades de saída entre 4 e 6 m s⁻¹ reduzem substancialmente o entupimento por partículas finas (Keller & Bliesner, 1990; Pereira & Trout, 1999; Pereira, 2004).

2.4. ASPECTOS A TER EM CONTA PARA O DIMENSIONAMENTO

2.4.1. SELECÇÃO, LOCALIZAÇÃO E ESPAÇAMENTO DOS EMISSORES

Os sistemas de rega localizada, como referido anteriormente, distribuem água directamente na zona radicular das culturas. Assim, a selecção dos emissores deve ser feita tendo em consideração factores como as características radiculares da cultura, assim como a percentagem de solo que se espera regar, o total de água a ser aplicada, o tempo total de rega diário e as características do sistema de filtragem (entupimentos) (Keller & Bliesner, 1990; Oliveira, 1993b, 2011, Evans *et al.*, 2007). A selecção e espaçamento dos emissores será baseada nas quantidades máximas de aplicação, tempos de rega estimados e capacidade de abastecimento (Keller & Bliesner, 1990; Evans *et al.*, 2007; Pedras *et al.*, 2009).

O espaçamento entre emissores deve ser seleccionado de modo a regar um volume suficiente da zona radicular fornecendo às plantas o equivalente às suas necessidades hídricas. Plantações de baixa densidade poderão, então, apresentar vários emissores por árvore, ainda que a escolha do espaçamento possa ser flexível. Para plantações de alta densidade, como é o caso das culturas plantadas em sebe, os emissores estão incluídos na rampa, formando um tubo gotejador (dripline). Assim sendo, deve-se optar por espaçamentos mais curtos, de modo a regar uniformemente todo o comprimento da rampa (Keller & Bliesner, 1990; Evans *et al.*, 2007). Não obstante, os emissores devem estar suficientemente afastados dos troncos das árvores de modo a evitar possíveis doenças (Oliveira, 1993b, 2011).

2.4.2. DOTAÇÃO DE REGA E CAPACIDADE DO SISTEMA

A capacidade do sistema deve ser projetada adequadamente para fazer face à satisfação das necessidades de rega das culturas onde o sistema será instalado, tendo em conta a possível necessidade de aplicação de uma fracção de água para lavagem dos sais assim como um

suplemento para suplantar a falta de uniformidade dos sistemas e adicionalmente as necessidades criadas por tempos de paragem de funcionamento do sistema. Assim, o projeto deverá ter como base as necessidades de água do mês de ponta (Oliveira, 1993a, 2011).

Em condições de clima mediterrânico, só é possível obter produtividades máximas e situações de conforto hídrico recorrendo à rega da cultura (Böhm, 2013). Para saber quando e, principalmente, quanto regar é imperioso conhecer as necessidades hídricas da cultura, correspondentes às perdas de água por transpiração e por evaporação directa de água do solo. Estas componentes são de difícil quantificação, em particular em pomares e vinhas, uma vez que, são influenciadas por vários factores, como a idade das árvores, a densidade de plantação, ou a arquitectura do copado, o que leva a que a evapotranspiração seja frequentemente estimada com o procedimento clássico da FAO (Allen *et al.*, 1998), que recorre aos coeficientes culturais (K_c) e à evapotranspiração de referência (ET_o). Nesta abordagem, as necessidades hídricas (evapotranspiração da cultura, ET_c) são obtidas multiplicando a ET_o pelo K_c ($ET_c = ET_o \times K_c$). A ET_o reflecte o efeito das condições climáticas enquanto o K_c integra as características ligadas à cultura que a diferenciam da cultura de referência. No entanto, os coeficientes culturais podem variar de local para local e até mesmo de ano para ano, dependendo da gestão da cultura (Orgaz *et al.*, 2006; Böhm, 2013).

A evapotranspiração das culturas pode ser estimada através de coeficientes culturais médios ou dos coeficientes culturais duais. A abordagem de um coeficiente cultural simples médio (K_c) implica que as duas componentes da evapotranspiração da cultura, transpiração da cultura e evaporação do solo, sejam consideradas em conjunto. Os estádios de desenvolvimento da cultura são identificados, os coeficientes culturais (K_c) adequados são seleccionados, o coeficiente cultural na fase inicial de desenvolvimento ($K_{c\text{ ini}}$) é ajustado para a fracção de humedecimento do solo, os coeficientes culturais na fase média ($K_{c\text{ mid}}$) e final ($K_{c\text{ end}}$) de desenvolvimento são ajustados para as condições climáticas locais, o que permite construir a curva do K_c e, por fim, calcular a ET_c (Allen *et al.*, 2005; Allen & Pereira, 2009; Rallo *et al.*, 2021). Todos estes valores de K_c encontram-se tabelados no FAO 56 (Allen *et al.*, 1998) e foram recentemente revistos para as culturas anuais (Pereira *et al.*, 2020, 2021a,b) e perenes (Rallo *et al.*, 2021). Por seu turno, numa abordagem em que se considere em separado a componente de evaporação do solo (K_e) e a transpiração da planta (K_{cb}), o K_c é dividido em dois coeficientes que descrevem separadamente estas componentes ($K_c = K_e + K_{cb}$). Esta aproximação requer um cálculo mais extenso e é mais adequado quando é importante conhecer os efeitos da variação diária do humedecimento do solo, como é o caso das regas de alta frequência, com sistemas localizados (rega gota-a-gota), assim como em culturas que cobrem parcialmente o solo, como é o caso dos pomares e da vinha (Allen & Pereira, 2009; Rosa *et al.*, 2012a; Paço *et al.*, 2019; Rallo *et al.*, 2021).

2.4.3. SOLOS

Os sistemas de rega devem ser dimensionados e geridos de acordo com o tipo de solo em que são instalados. Assim, os emissores devem ser escolhidos de acordo com a capacidade de infiltração do solo (Evans *et al.*, 2007; Oliveira, 2011). A topografia dos terrenos condiciona o dimensionamento. Uma inadequada condução da rega devido ao incorreto funcionamento do sistema pode resultar em percolação de nutrientes. Quando e sempre que as taxas de aplicação excedem a capacidade de infiltração do solo, este torna-se saturado, ocorrendo depois escoamento superficial e deste modo perdas de água e, em alguns casos, de solo (erosão). Adicionalmente, infestantes e agentes patogénicos podem ser um problema devido à elevada humidade do solo (Elmaloglou & Diamantopoulos, 2009; Evans *et al.*, 2007; Nassah *et al.*, 2018).

O teor de salinidade do solo afecta não só o projecto e a gestão do sistema, pois os sais têm tendência a acumular-se nas extremidades das áreas molhadas da superfície do solo e devem ser lixiviados periodicamente, o que pode condicionar a configuração do sistema (Evans *et al.*, 2007), mas também o crescimento das plantas, o qual pode ser retardado se o teor de salinidade for elevado em solos com baixo teor de água (Minhas *et al.*, 2020). Este problema pode ser contrariado com recurso a filmes plásticos para reduzir a evaporação do solo e consequentemente o respectivo teor de salinidade. O pH do solo pode também ter efeitos na disponibilidade de nutrientes no solo e pode ser necessário realizar a sua correcção. Esta deve ser realizada antes da plantação da cultura e instalação do sistema. Assim, como parte do processo de planeamento e dimensionamento, deve ser realizada uma análise das características químicas do solo (Evans *et al.*, 2007; Zhangzhong *et al.*, 2019; Muhammad *et al.*, 2020).

2.4.4. QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA

A disponibilidade de água a longo prazo deve ser determinada. Os sistemas são, normalmente, dimensionados para satisfazer a ET_c (Oliveira, 2011) e, portanto, armazenamentos suplementares de água podem ser necessários para uma melhor eficiência do sistema (Evans *et al.*, 2007). As suas características físicas, biológicas e químicas, incluindo salinidade, são determinantes para o projecto e gestão de um sistema gota-a-gota e, portanto, devem ser analisadas em todas as fontes de água (canais, poços, etc.). Análises laboratoriais da água de rega devem ser levadas a cabo antes da instalação do sistema de rega, de modo a determinar a natureza e composição de componentes inorgânicos, assim como a sua composição. É particularmente importante analisar o pH, a salinidade (condutividade eléctrica), o teor de cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, carbonatos, bicarbonatos e enxofre. Contaminantes orgânicos também podem causar problemas, ainda

que estes sejam facilmente controlados com um bom sistema de filtragem e com tratamentos à base de cloro (Nakayama & Bucks, 1991; Fernández *et al.*, 2010). As fontes de água poderão ser tratadas se não cumprirem os requisitos de qualidade necessários para serem distribuídas. Tratamentos à água de rega podem ter várias fases, incluindo bacias de sedimentação, separadores centrífugos e filtros, além da injeção de cloro, ácidos e outros produtos químicos (Nakayama & Bucks, 1991). Um dimensionamento e gestão associados a cada uma das fases do tratamento ajuda a manter a qualidade da água de rega ao longo de todo o tempo de vida do projecto, embora possam haver alterações nas características físicas e químicas da água neste mesmo tempo (Evans *et al.*, 2007).

2.5. NECESSIDADES DE MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS

2.5.1. LIMPEZA DE FILTROS

O entupimento dos filtros leva ao aumento das perdas de carga. Perdas de carga muito elevadas entre a entrada e a saída do filtro indicam que o filtro precisa de uma limpeza. Existem filtros que se limpam automaticamente mas os filtros de limpeza manual, como os filtros de malha e discos, podem e devem ser abertos e limpos (Pereira, 2004). A limpeza do sistema de filtragem deve ser feita antes, durante e depois da campanha de rega. Antes da campanha os componentes internos dos filtros (areia, malha ou discos) devem ser revistos de modo a avaliar o seu estado de conservação. Em sistemas com limpeza automática, deve-se comprovar que as componentes eléctricas estão limpas e apertadas. Durante a campanha de rega, deve ser assegurado, com frequência, que o equipamento de filtragem e as válvulas de controlo funcionam correctamente e deve ser analisado o estado dos filtros. Depois da campanha, o sistema de filtragem deve ser limpo e drenado e deve ser analisado o estado de conservação dos filtros (corrosões, desgastes, etc.). No caso de sistemas de limpeza automática, estes devem ser desligados e deve ser, adicionalmente, comprovado o estado das ligações eléctricas (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.2. LIMPEZA DE TUBAGENS

A limpeza das tubagens deve também ser feita antes, durante e depois da campanha de rega. Antes da campanha, devem ser abertas as tubagens para fazer a água circular e expelir quaisquer elementos que possam causar obstruções (Oliveira, 1993b). Durante a campanha de rega as tubagens devem ser revistas frequentemente para identificar possíveis fugas e, eventualmente, repará-las. Depois da campanha, devem ser substituídos todos os elementos do sistema que tenham apresentado fugas e/ou roturas frequentes. É conveniente efectuar uma drenagem de toda a água do sistema e verificar se há corrosões nas tubagens (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.3. SISTEMA DE FERTIRREGA

O sistema de fertirrega deve ser avaliado, pelo menos, duas vezes em cada campanha de rega, de modo a garantir o seu correcto funcionamento e taxa de aplicação em função das necessidades da cultura e do coeficiente de uniformidade da rega. Devem ser também avaliados, aquando da elaboração do projecto de rega, visando averiguar se o sistema se adequa à cultura a ser regada e aos valores de acidez estabelecidos para controlo de entupimentos, o tipo de equipamento, a sua capacidade, as doses de fertilizantes e o pH da água de rega nos últimos gotejadores (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.4. PROBLEMAS LIGADOS AO ENTUPIMENTO DOS EMISSORES

Vários autores apontam que o entupimento dos emissores é o principal problema da perda de uniformidade dos sistemas de rega gota-a-gota e a sua solução não é fácil (Şahin *et al.*, 2005; Yavuzet *et al.*, 2010; Song *et al.*, 2017). Quando há obstruções, o caudal dos emissores diminui consoante o nível de obstrução, o que põe em causa a satisfação das necessidades de água das plantas e a uniformidade e eficiência de rega (Şahin *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2010). As características da água podem conduzir a entupimento e afectar o bom funcionamento do sistema (Bucks *et al.*, 1979; Nakayama & Bucks, 1991; Evans *et al.*, 2007; Oliveira, 2011) pelo que a filtragem, por si só, pode não ser suficiente para prevenir o entupimento dos emissores (Coelho & Resende, 2001; Solé-Torres *et al.*, 2019).

As obstruções parciais ou totais dos emissores podem ser devidas a factores físicos (sólidos em suspensão, plástico, algas, bactérias, etc.), químicos (precipitação de substâncias nas tubagens) e biológicos (organismos como algas, raízes, ervas, insectos, etc., que entram na rede de rega) (Nakayama & Bucks, 1991).

Obstruções físicas provocadas por partículas sólidas grossas podem ser evitadas com a instalação de um cabeçal de rega equipado com filtros adequados ao tipo de água e à quantidade de substâncias em suspensão na mesma (Nakayama & Bucks, 1991). Obstruções físicas provocadas por partículas finas acontecem quando estas atravessam a malha dos filtros e se depositam nas condutas e nos emissores. Este problema só pode ser combatido de forma preventiva, isto é, fazendo um dimensionamento dos filtros adequado. Se as obstruções são causadas por entrada de partículas sólidas desde o exterior, a melhor solução é evitar o contacto dos emissores com o solo, colocando-os a uma determinada altura acima do mesmo. Um possível procedimento nestes casos é realizar uma limpeza do sistema com água à pressão, aliado a uma manutenção periódica de limpeza do sistema de filtragem, de modo a impedir a passagem destas partículas para as condutas (Nakayama & Bucks, 1991; Enciso-Medina *et al.*, 2011).

Obstruções químicas acontecem quando substâncias químicas precipitam dentro das condutas, como precipitados de cálcio, ferro e de fertilizantes (Enciso-Medina *et al.*, 2011). Estudos demonstram que a salinidade da água tem maior impacto no entupimento do que o tipo de fertilizantes usados na fertirrega. Águas com elevados teores salinos contendo uma concentração elevada de cátions (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+}) e aniões (CO_3^{2-} , PO_4^{2-} , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , OH^-) resultam, frequentemente, em entupimentos, especialmente quando combinadas com a aplicação de fertilizante (Muhammad *et al.*, 2020). Este tipo de entupimentos pode ser resolvido adicionando doses adequadas de ácido, homologados para o efeito, à água de rega (Şahin *et al.*, 2005).

Por fim, obstruções biológicas, causadas por acumulação de algas, bactérias ou restos orgânicos nas condutas, podem ser complicadas de combater e são, geralmente, resolvidas recorrendo a vários métodos, incluindo injeção de ácido e cloro ou compostos à base de cloro, desinfecção por radiação ultravioleta e lavagem das laterais (Puig-Bargués *et al.*, 2010; Song *et al.*, 2017). Todos os tratamentos nos quais os compostos circulam na água de rega devem ser realizados com os compostos em doses adequadas e homologados para o efeito, adicionando-os à fonte da água de rega, fazendo-os passar por todo o sistema (Fernández *et al.*, 2010). Dentro destes métodos, a forte oxidação do cloro pode inibir a reprodução e desenvolvimento de microrganismos (bactérias) (Song *et al.*, 2017). Deste modo, os tratamentos à base de cloro são os mais utilizados para combater o risco de entupimento devido a factores biológicos (Şahin *et al.*, 2005).

A melhor solução para o problema da obstrução dos emissores é a prevenção já que resolvê-lo pode trazer custos elevados porque este é, geralmente, detectado numa fase já avançada de obstrução. Esta situação é acentuada com a fertirrega e, portanto, é importante ter um sistema de filtragem bem dimensionado e eficiente (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.5. IMPACTOS NA PRODUÇÃO

Valores elevados de uniformidade de distribuição traduzem-se em aumentos da produção das culturas (Ascough & Kiker, 2002), particularmente para culturas com elevadas necessidades hídricas (Lord Jr. & Ayars, 2007). Estes dependem tanto das características dos sistemas como das decisões tomadas na gestão do sistema e da rega (Pereira, 1999).

Valores baixos de uniformidade de distribuição traduzem-se em diferenças nas condições hídricas nas plantas – plantas com excesso de água vs plantas em défice hídrico - e em decréscimos de produção (qualidade e quantidade). Para além disto, haverá também uma má distribuição de fertilizantes – desperdício de nutriente vs falta destes – o que leva a um desfasamento do desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, da produção (Fernández *et al.*, 2010).

2.5.6. CONSUMO DE ENERGIA E RESULTADO ECONÓMICO AO NÍVEL DA PARCELA

Os custos operacionais de um sistema de rega localizada incluem, entre outros, os custos energéticos. Estes custos devem ser determinados aquando da instalação do projecto, na fase de pré-avaliação (Lord Jr. & Ayars, 2007; Pedras & Pereira, 2009). Torna-se necessário o uso de energia sempre que houver necessidade de recorrer a estações de bombagem, quer para elevar a água da sua origem até ao ponto de armazenamento ou de aplicação, quer para fazer funcionar correctamente os sistemas que usam água sob pressão, como é o caso da rega localizada (Oliveira, 1993a). Devem ser considerados nos custos energéticos custos como o custo de energia anual, que é função da altura de elevação, volume de água a elevar, o rendimento da bomba e custo unitário da energia, o custo da bomba e o custo de água consumida (função do custo unitário da água, da quantidade consumida, da taxa de actualização do custo e da uniformidade de distribuição) (Oliveira, 1993a; Chamba *et al.*, 2019).

Dito isto, tendo em conta a economia de água devido às altas uniformidades de aplicação e eficiência e, principalmente, por funcionarem a pressões reduzidas, os sistemas de rega localizada apresentam custos energéticos reduzidos quando comparados com outros sistemas, nomeadamente com o de aspersão (Oliveira, 1993b; Pereira, 2004; Lamm & Camp, 2007).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DAS PARCELAS

A auditoria foi realizada a dois sistemas instalados no Instituto Superior de Agronomia, em Lisboa, no período entre Julho e Novembro de 2020. Um dos sistemas rega a vinha da meia encosta, numa parcela com sensivelmente 1,6 hectares composta por 2 sectores de rega, e o outro um olival experimental plantado em 2019 numa parcela de 0,2 hectares, constituída apenas por um sector de rega. Ambos os sistemas são de rega localizada gota-a-gota. Nos sistemas, as duas modalidades praticadas relativamente ao automatismo são o nível zero (totalmente manual) para o caso do olival e o nível três (comando à distância) para o caso da vinha. No primeiro, todas as operações de abertura e fecho de válvulas são efectuadas de forma manual, o que se justifica dada a reduzida dimensão da parcela. No segundo, a abertura e fecho de válvulas é efectuada recorrendo a válvulas eléctricas (electroválvulas) que estão ligadas ao programador através de um cabo eléctrico, onde se pode programar o tempo de rega de cada sector, controlado pela válvula respectiva (Raposo, 1994, 1996). Ambas as parcelas apresentam declive acentuado (6,8 % na vinha e 7 % no olival) e, no caso da vinha, topografia irregular. A Figura 1 representa as parcelas em estudo.

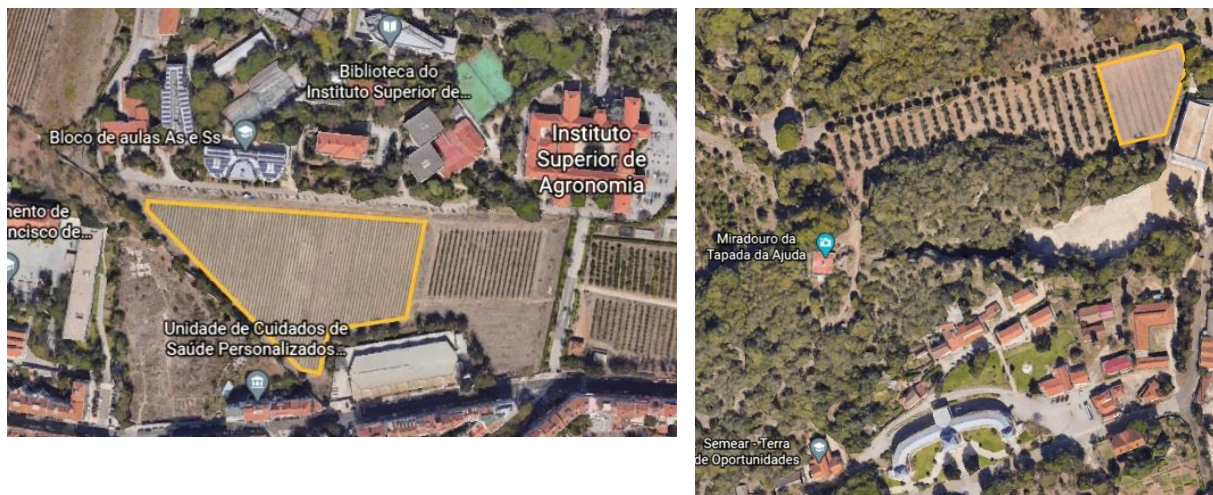


Figura 1: Parcelas em estudo: vinha (à esquerda) e olival (à direita)

A vinha em estudo foi plantada em 2006 com um compasso de 2,5 m x 1 m e com uma densidade de 4000 plantas por hectare, distribuídos por sete castas (Macabeu, Moscatel Galego, Moscatel de Setúbal, Alvarinho, Viosinho, Encruzado e Arinto). Apresenta uma orientação Norte-Sul. Dado ser uma instalação de pequenas dimensões, é apenas formada por uma tubagem principal que parte do cabeçal e que funciona como porta-rampas, da qual partem as rampas com os emissores.

O olival foi plantado em 2019 com um compasso variável, sendo que nas primeiras duas linhas o compasso é de 2 m x 6 m e nas restantes oito linhas é de 1,5 m x 5,5 m e apresenta uma densidade média de 1023 árvores por hectare. A área de olival contém doze variedades (Cobrançosa, Verdeal de Trás-os-Montes, Verdeal de Serpa, Oliana, Imperial, Sikitita, Arbosana, Lecciana, Frantoio, Callosina e Arbequina). A parcela apresenta um desnível de 6 m. Tal como na vinha, dado ser uma instalação de pequenas dimensões, a instalação é apenas formada por uma tubagem principal que funciona como porta-rampas, da qual partem as rampas com os emissores. Não existe cabeçal de rega neste sistema, pelo que a tubagem principal tem ligação directa ao reservatório situado por baixo do miradouro da Tapada.

3.2. CARACTERIZAÇÃO EDAFO-CLIMÁTICA

Ambas as parcelas estão situadas em solos franco-argilosos. É relevante, para o estudo, ter em conta que o teor de água à capacidade de campo (CC) toma o valor de $0,45 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e o teor de água ao coeficiente de emurchecimento (CE) o valor de $0,32 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ (Vitorino, 2015).

Tratando-se de um clima temperado mediterrânico, a precipitação é abundante no Inverno e escassa no Verão. De acordo com a classificação climática de Köppen (Kottek *et al.*, 2006), o clima de Lisboa/Ajuda é do tipo Csa (mesotérmico húmido), caracterizado por um verão quente e seco (temperaturas superiores a $20 \text{ }^\circ\text{C}$) e um inverno fresco e chuvoso, sendo que a sua temperatura média é superior a 10°C . Segundo dados da estação meteorológica da Tapada, a temperatura média diária, no mês de ponta (Julho), entre 1977 e 2006, foi de $22,8 \text{ }^\circ\text{C}$ com uma humidade relativa média do ar de 67 % e uma precipitação média mensal de 4,7 mm.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE REGA LOCALIZADA

Ambos os sistemas são abastecidos por um reservatório com 300 m^3 de capacidade situado debaixo do miradouro da Tapada, a uma altitude de 130 m. O reservatório é abastecido pelo furo e tem um sistema que permite que a bomba (Wilo AG MVI808-1/16/E/3-400-50-2) entre em funcionamento quando se atinge um nível mínimo e pare quando se atinge um nível máximo.

3.3.1. SISTEMA DE REGA DA VINHA

A vinha é regada por um sistema de rega localizada gota-a-gota com emissores que, na ausência de mais e melhores informações, se pensam ser autocompensantes com um caudal de $2,5 \text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$ espaçados 1 m entre si. As tubagens dos ramais são de PE de baixa densidade (PELD) e têm um diâmetro exterior de 16 mm, sendo que a espessura é de 1 mm, com gotejadores integrados (não é conhecida a marca dos emissores). A conduta principal é composta por uma tubagem de PE de baixa densidade com 40 mm de diâmetro exterior (maior

na vinha do que no resto das fruteiras, 32 mm, para minimizar/evitar perdas de cargas), tendo uma espessura de 1,6 mm e uma pressão nominal de 4 bar. Estas condutas saem da casa de rega, situada junto ao refeitório do Instituto, nas imediações da vinha, onde se situa também o cabeçal de rega.

Nos Quadro 2 e 3 constam informações referentes aos dados técnicos das rampas e dos emissores.

Quadro 2: Dados técnicos das rampas do sistema da vinha

Tubagem	Diâmetro interior (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Pressão máxima de trabalho (bar)
16/100	14,2	1	16,2	3,5

Quadro 3: Dados técnicos dos emissores do sistema da vinha

Caudal (L.h ⁻¹)	Intervalo de pressão de trabalho (bar)	Constante K	Expoente x
2,5	1.0-4,0	2,5	0

K – Factor de fabrico que caracteriza as dimensões do emissor; x - expoente característico do regime de escoamento do emissor.

O cabeçal de rega é constituído por um programador AGRONIC 4000 (Progés, Espanha) (Figura 7), que permite controlar a rega, o sistema de fertirrega, o pH e limpeza de filtros, com a deteção de avarias e possibilidade de gestão a partir de um telemóvel ou computador, e comando de válvulas hidráulicas para os diversos sectores: sistema mono-cabo (Progés, Espanha).

A Figura 2 apresenta a configuração do cabeçal na casa de rega.



Figura 2: Configuração do cabeçal de rega.

À esquerda na Figura 2 observam-se: 1) uma válvula de segurança, que evita que o caudal, quando se corta a água do sistema, água esta que pode conter resto de fertilizantes, volte para a bomba ou sistema principal de abastecimento; 2) uma electroválvula que permite que o programador inicie ou termine o funcionamento do sistema; 3) um contador volumétrico principal do sistema; e 4) um regulador de pressão de 4 bar que regula a pressão da água proveniente da fonte. Observam-se, também, dois manómetros (10 bar), um antes do filtro e outro depois do filtro com o objectivo de detectar perdas de carga no filtro. Se a diferença de pressão entre os dois manómetros for superior a 0,4 bar é sinal que existe uma perda de carga no filtro e este deve ser limpo. Observa-se ainda uma válvula anti-retorno, que permite garantir a circulação do fluído no sentido desejado, fechando-se sempre que existe uma inversão do escoamento do mesmo. O sistema possui também um sistema de injeção de ácido a fim de minimizar os problemas ligados ao entupimento dos emissores. Este sistema é controlado por uma bomba doseadora electromagnética que consegue detectar automaticamente, através de medidores de pH, quando deve ser injectado o ácido de modo a baixar o pH. O ácido é injectado no sistema através do filtro e, de modo a reduzir as quantidades de ácido aplicadas, é apenas injectado nos últimos minutos de cada rega. Isto permite que a água existente na conduta fique mais ácida, diminuindo a probabilidade de formação de precipitados, o que evita

o entupimento dos emissores. A bomba tem ainda um tubo lateral que impede a entrada de ar na mesma. A Figura 5 apresenta a localização detalhada de cada uma das unidades de regulação e controlo acima descritas.

O sistema de fertirrega é composto por 4 depósitos tronco-cónicos com 500 L de capacidade. Cada depósito armazena um adubo diferente e possui um circuito de ar comprimido que actua como agitador, de modo a manter estável a solução e evitar a sedimentação (Figura 3). Os adubos são filtrados através de filtros de malha (TVL 1"TLH-L-120 mesh) (Netafim, Israel) e, posteriormente, injectados na água de rega através de 4 bombas doseadoras de pistão, uma por cada depósito, com o propósito de evitar a ocorrência de precipitados resultantes de reacções entre os diferentes elementos dos adubos (Figura 4). O sistema de injeção de adubo possui um sistema de retrolavagem Aquative Plus (Netafim, Israel) que permite fazer uma lavagem ao sistema após a aplicação de adubo.

O sistema de filtragem é constituído por um filtro de discos do tipo AK DUAL RM 2"-120 mesh (Netafim, Israel) (Figura 5) e um filtro de malha de 3 mm série 18400 (Copersa) (Figura 6).



Figura 3: Depósitos tronco-cónicos com 500 L de capacidade e circuito de ar comprimido que actua como agitador



Figura 4: 1- Bomba doseadora de pistão (D054-220 L/L T); 2- Sistema de retrolavagem Aquative Plus; 3- contador volumétrico; 4- Filtro de malha (TVL1"TLH-L-120 mesh); 5- Válvula manual.



Figura 5: 1- Válvula de segurança; 2- Electroválvula; 3- Contador volumétrico principal do sistema; 4- Regulador de pressão 2000 11/2" 4 bar; 5 e 6- Manómetros de 10 bar; 7- Válvula anti retorno; 8- Filtro de discos AK DUAL RM 2"-120 mesh; 9. Bomba electromagnética doseadora de ácido.



Figura 6: Filtro de malha de 3 mm série 18400 (Copersa, Espanha).



Figura 7: Automatismo AGRONIC 4000 (Progés, Espanha).

O sistema da vinha é composto por 2 sectores, cada um com uma conduta independente para o seu abastecimento. As regas são controladas pelo sistema através de electroválvulas, que permitem regar os sectores separadamente. Os sectores 1 e 2 da vinha fazem parte de um conjunto de sectores controlados pelo programador AGRONIC 4000 e, como tal, apenas duas

das tubagens que saem da casa de rega se destinam à vinha, uma para o sector 1 (a maior cota) e uma para o sector 2 (a menor cota) (Figura 8). Sendo o sector 1 o que se encontra a maior cota, a tubagem principal não tem uma válvula de entrada de ar porque a água não sai toda das condutas e, portanto, não se põe a necessidade de introduzir ar na conduta porque, ficando a conduta cheia, não se cria, na zona da electroválvula, uma depressão. Esta depressão é causada na conduta quando a água abandona rapidamente a mesma. No sector 2, por se encontrar a uma cota inferior e por a água sair toda das condutas, é necessário deixar entrar ar na conduta para evitar a criação de uma depressão. Deste modo, a conduta deste sector possui uma válvula de entrada de ar que impede que isto aconteça.

Na Figura 8 observam-se as duas tubagens destinadas à vinha e a válvula de entrada de ar correspondente ao sector 2. Observam-se também electroválvulas e medidores de pH e de condutividade eléctrica que permitem controlar os sistemas de injeção de ácido e de fertirrega, respectivamente, e que fazem parar o sistema quando os seus valores ultrapassam determinados limites.



Figura 8: Tubagens do sistema da vinha. 1- Válvula de entrada de ar. 2- Electroválvula. 3- Medidor de condutividade eléctrica. 4- Medidor de pH.

Por último, no fim das tubagens dos respectivos sectores, existe um pressostato que assinala uma avaria no sistema sempre que a pressão é inferior a 2 bar ou superior a 4 bar e que faz parar todo o sistema. Este dispositivo é importante no caso de haver uma rotura no sistema que faça diminuir a sua pressão. O intervalo de pressão do dispositivo pode ser regulado.

3.3.2. SISTEMA DE REGA DO OLIVAL

No olival foi instalado um sistema de rega localizada gota-a-gota com emissores com 2,3 L.h⁻¹ de caudal espaçados 0,5 m entre si. Todas as rampas têm ainda um emissor na cabeceira com caudal de 8 L.h⁻¹ de modo a atenuar o efeito da competição de bordadura. As rampas são, também, compostas por tubagens em PE de baixa densidade (PELD) de 16 mm de diâmetro exterior com uma espessura de 1 mm, com gotejadores integrados UNIRAM (Netafim, Israel). A conduta principal é composta por uma tubagem de PE de alta densidade (PEHD) com 32 mm de diâmetro exterior, tendo uma espessura de 1,3 mm e uma pressão nominal de 4 bar. Este sistema não apresenta qualquer tipo de automatismo pelo que o seu funcionamento é feito de forma totalmente manual. Também não apresenta cabeçal de rega e o seu abastecimento é feito de forma directa a partir do reservatório.

Os gotejadores são autocompensantes. Quanto à sua montagem, na perspectiva da rampa, estes são em linha, ou seja, são montados ao longo da rampa, fazendo parte da mesma.

Nos Quadros 4 e 5 constam informações referentes aos dados técnicos das rampas e dos emissores.

Quadro 4: Dados técnicos das rampas do sistema do olival

Tubagem	Diâmetro interior (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Pressão máxima de trabalho (bar)
16/100	14,2	1	16,2	3,5

Quadro 5: Dados técnicos dos emissores do sistema do olival

Caudal (L.h ⁻¹)	Intervalo de pressão de trabalho (bar)	Constante K	Expoente x
2,3	0,5-4,0	2,3	0

K – Factor de fabrico que caracteriza as dimensões do emissor; x - expoente característico do regime de escoamento do emissor.

Na figura 9 constam os comprimentos máximos admissíveis das rampas para que a pressão mínima nas mesmas seja de 0,5 bar. Estes comprimentos pressupõem valores de pressão à entrada de 3 bar. No caso do olival, o valor a ter como referência para o comprimento máximo

das rampas é 179 m, com uma pressão à entrada de 3 bar espaçamento entre emissores de 0,5 m e declive negativo de 2 %.

Max. Lateral length (meter) at different inlet pressure and different slopes

UniRam™ AS 16009/16010/16012 • ID 14.2 mm • Kd 1.3 • Flow rate 2.3 l/h

	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (METER)									
	INLET PRESSURE (BAR)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
DOWNHILL 2%	1.0	46	68	90	111	132	153	173	193	212
	1.5	57	84	110	135	160	183	206	230	252
	2.0	65	95	124	153	179	206	231	257	281
	2.5	72	105	136	167	196	224	252	279	305
	3.0	77	113	146	179	209	240	270	298	326
	3.5	82	119	155	189	222	254	285	315	344
	4.0	86	125	163	199	233	267	298	330	361
FLAT TERRAIN	1.0	44	63	81	98	114	130	144	158	171
	1.5	55	80	103	125	145	165	183	201	218
	2.0	64	92	118	143	167	189	210	231	251
	2.5	70	101	130	158	184	209	233	256	278
	3.0	76	109	141	171	199	226	252	276	301
	3.5	80	116	150	182	212	241	268	294	320
	4.0	85	122	158	192	223	253	283	311	338
UPHILL 2%	1.0	41	58	72	85	97	106	116	124	132
	1.5	53	76	96	114	130	146	160	174	186
	2.0	62	88	112	134	154	173	190	207	222
	2.5	68	98	124	150	172	194	214	233	251
	3.0	74	106	135	163	188	211	234	256	276
	3.5	79	113	145	174	202	228	251	275	297
	4.0	83	119	153	184	214	241	267	292	315

Minimum considered pressure 0.5 bar. Max. working pressure according the dripline wall thickness definition



5

Figura 9 – Comprimento máximo das rampas para que a pressão mínima nas mesmas seja 0,5 bar (Fonte: Catálogo Netafim)

3.4. INDICADORES DE DESEMPENHO

Para avaliar o desempenho de um sistema de rega são vários os indicadores a ter em conta, nomeadamente a eficiência do transporte de água, eficiência de aplicação de água, eficiência de armazenamento de água no solo, eficiência de rega, e a uniformidade de rega (Pereira, 1999). Exemplos da utilização destes indicadores em pomares são reportados nos trabalhos de Javed *et al.* (2015) em pomar de citrinos e por Capra & Scicolone (2018) em olival. No presente trabalho apenas foi avaliada a uniformidade de rega.

A uniformidade com a qual um sistema de rega aplica água afecta a eficiência do sistema. A uniformidade de um sistema deve ser elevada, de modo a garantir que a maioria das plantas recebe uma quantidade de água adequada. Isto é necessário para que as produções sejam elevadas e para que as perdas de nutrientes devido a percolação sejam mínimas (Ascough & Kiker, 2002). A uniformidade de distribuição de um sistema de rega depende das

características do sistema, assim como das decisões de gestão do sistema (Pereira, 1999) e é dada por (Merriam & Keller, 1978):

$$UD = 100(q_{Min}/q_{med}) \quad (2)$$

Onde

UD - uniformidade de distribuição (%),

q_{Min} – caudal médio recolhido no menor quartil da área regada, o qual corresponde à quarta parte da área regada que recebe menos água ($L \cdot h^{-1}$),

q_{med} – caudal médio ($L \cdot h^{-1}$).

3.5. AVALIAÇÃO DO SISTEMA

Na auditoria aos sistemas de rega localizada, todas as suas componentes e subsistemas foram submetidos a avaliações, ou seja, foram avaliados todos os componentes do sistema existente tal e qual como se se estivessem a instalar novos sistemas, de acordo com a metodologia apresentada por Merriam & Keller (1978). Fernández *et al.*(2010) referem que para fazer uma correta avaliação da uniformidade é necessário ter em conta a metodologia e informação descrita nesta subsecção.

Os dados de campo foram recolhidos utilizando o formulário disponibilizado no Anexo 2 o qual se baseou em Oliveira (1993a). Para o efeito, seleccionaram-se um manómetro (0 - 10 bar), uma fita métrica com 10 m de comprimento, uma proveta de 250 mL, uma balança digital, 4 copos de plástico e um formulário de avaliação para apontar o valor dos volumes recolhidos.

Utilizando o material acima referido, foi recolhido o volume debitado pelo emissor durante um minuto, depois medido o volume recolhido e registado o seu valor para posterior análise. Inicialmente o volume foi determinado por pesagem em balança digital (0,1 g), mas posteriormente, devido a uma avaria desta, o mesmo foi determinado numa proveta de 250 mL.

Relativamente aos emissores da vinha, na impossibilidade de esticar a tubagem dos emissores na sua totalidade e de modo a evitar escorrências ao longo da rampa, optou-se por colocar uma braçadeira em cada um dos emissores em estudo. O uso da braçadeira nem sempre cumpriu o seu efeito.

Antes de cada medição, foram drenados os ramais de modo a eliminar quaisquer detritos e organismos que pudessem bloquear os gotejadores.

Ainda assim, observaram-se alguns entupimentos e, também, algumas roturas e fugas ao longo do sistema, as quais foram registadas para posterior análise.

Foi também necessário conhecer a duração, frequência e sequência de rega. Assim verificou-se que as regas, no mês de ponta (Julho), foram efectuadas 3 vezes por semana, durante 2 horas, e completadas uma quarta vez durante o fim de semana segundo indicação da sonda instalada, no caso da vinha, de acordo com o esquema de rega do ano de 2019. No caso do olival as regas foram efectuadas 2 vezes por semana, durante 3,5 horas. Os diferentes sectores da vinha nunca são regados em simultâneo de modo a garantir um correcto caudal de funcionamento para ambos.

Por fim, procedeu-se à medição dos volumes e pressões nos locais definidos. O esquema das medições é apresentado na Figura 12.

Uma vez recolhidos os dados de campo, procedeu-se ao seu tratamento recorrendo à metodologia apresentada por Merriam & Keller (1978), Oliveira, (1993a) e Fernández *et al.* (2010).

3.5.1. UNIFORMIDADE DE REGA

Tendo em vista a avaliação da uniformidade de um sistema de rega localizada elegeu-se o sector de rega mais representativo da instalação e o sub-sector mais representativo no qual se efectuou a avaliação. Em cada sector determinou-se a uniformidade do sector de rega (Fernández *et al.*, 2010).

O espaçamento entre os emissores foi determinado com a medição da distância destes na linha de emissores (rampa ou lateral) e na entre-linha (entre rampas ou laterais).

Foram anexados aos dados de campo recolhidos todo o tipo de informação útil, nomeadamente os catálogos dos emissores, das tubagens, etc., a fim de se poder, posteriormente, confrontar os dados medidos com os do projecto.

Para calcular o coeficiente de uniformidade de caudais elegeu-se um número determinado de gotejadores, distribuído uniformemente dentro do sub-sector de rega, e representativo da instalação.

As rampas onde decorreu o ensaio foram escolhidas de forma a que uma esteja situada junto ao início da linha de abastecimento, outra junto do extremo oposto e as outras duas situadas a 1/3 e a 2/3 da distância entre extremos, perfazendo um total de quatro rampas por sub-sector, de acordo com o método proposto por Merriam e Keller (1978), adoptado pela FAO (Juana *et al.*, 2007). No presente estudo, seleccionaram-se, para cada sector, 4 rampas, de acordo com a metodologia acima descrita. No sector 1 da vinha seleccionaram-se as rampas correspondentes às linhas 30, 41, 52 e 63, uma vez que o sistema só estava a regar até à rampa

da linha 63, e no sector 1 seleccionaram-se as rampas correspondentes às linhas 1, 10, 20 e 29 (Figura 12). No olival seleccionaram-se as rampas correspondentes às linhas 2, 5, 8 e 10, tentando com esta escolha analisar as rampas mais representativas do sistema (Figura 12).

Em cada rampa seleccionada, escolheram-se quatro pontos de medição situados de acordo com o mesmo esquema, ou seja, dois junto dos extremos da rampa e os outros dois a 1/3 e a 2/3 da distância entre aqueles, respectivamente. Em cada ponto de medição foi medido o caudal médio de quatro gotejadores. O caudal a medir foi recolhido no período de tempo mínimo, de entre o aconselhado (um a cinco minutos) (Juana *et al.*, 2007), mas igual para todos os gotejadores (Figura 10).



Figura 10 – recolha dos caudais dos emissores

A uniformidade foi obtida reproduzindo-se os seguintes passos, baseados na metodologia adaptada de Merriam & Keller (1978), Oliveira (1993a), Pereira & Trout (1998) e Fernández *et al.* (2010):

1) Volume médio recolhido:

$$V_{med} = \frac{\sum_{i=1}^{16} \text{volumes recolhidos}}{16} \quad (3)$$

Em que:

V_{med} é o volume médio recolhido (mL)

Σ é o somatório dos volumes recolhidos (mL)

2) Caudal médio:

$$q_{med} = \frac{V_{med}}{\text{Tempo de medição}} \times 0,06 \quad (4)$$

em que:

q_{med} - caudal médio (L.h⁻¹)

V_{med} - volume médio recolhido (mL)

Tempo de medição - tempo durante o qual foram recolhidos os volumes (min)

3) Volume médio recolhido no quartil inferior:

$$V_{min} = \frac{\sum_{i=1}^4 \text{menores volumes}}{4} \quad (5)$$

em que:

V_{min} - volume recolhido no quartil mínimo (mL)

Σ - somatório dos volumes recolhidos no quartil mínimo

4) Caudal médio recolhido no quartil mínimo:

$$q_{Min} = \frac{V_{min}}{\text{Tempo de medição}} \times 0,06 \quad (6)$$

em que:

q_{Min} - caudal médio recolhido no quartil mínimo (L.h⁻¹)

V_{min} - volume recolhido no quartil mínimo (mL)

Tempo de medição - tempo durante o qual foram recolhidos os volumes (min)

5) Uniformidade de distribuição:

$$UD (\%) = 100 \times \frac{q_{Min}}{q_{med}} \quad (7)$$

em que:

UD - uniformidade de distribuição (%)

q_{Min} – caudal médio recolhido no quartil mínimo (L.h⁻¹)

q_{med} – caudal médio recolhido (L.h⁻¹)

Segundo Fernández *et al.* (2010), podem ser atribuídas classificações aos sistemas em função das suas uniformidades de distribuição (Quadro 6).

Quadro 6: Classificação do sistema em função da uniformidade de distribuição (Fonte: Fernández et al., 2010)

Valor da uniformidade de distribuição	Classificação
≥ 94 %	Excelente
86 - 94 %	Boa
80 - 86 %	Aceitável
70 - 80 %	Fraco
< 70 %	Inaceitável

3.5.2. CÁLCULO DA DOTAÇÃO MÉDIA APLICADA

Para o cálculo da dotação média aplicada seguiram-se os seguintes passos, baseados na metodologia adaptada de Merriam & Keller (1978), Oliveira (1993a), Pereira & Trout (1998) e Fernández et al. (2010):

- 1) Número de emissores por planta:

No caso da vinha, existe 1 emissor por planta e no caso do olival, 2 emissores por planta

- 2) Volume médio de água aplicado por árvore/rega:

$$V_{\text{árvore/rega}} = N_{\text{emissores/árvore}} \times q_{\text{med}} \times \text{duração da rega} \quad (8)$$

em que:

$V_{\text{árvore/rega}}$ – volume médio de água aplicado por árvore/rega (L)

$N_{\text{emissores/rega}}$ – número de emissores por árvore

duração da rega (h)

- 3) Dotação média aplicada:

$$D = \frac{V_{\text{árvore/rega}}}{\text{Área árvore}} \quad (9)$$

em que:

D – dotação média aplicada (mm)

$V_{\text{árvore/rega}}$ – volume médio de água aplicado por árvore/rega (L)

Área árvore – área explorada pela árvore (compasso) (m²)

3.5.3. AVALIAÇÃO DAS PRESSÕES

A pressão deve ser medida no início e no final de cada uma das rampas selecionadas para medição dos caudais. Com esta metodologia é possível determinar a diferença de pressão

entre a entrada e o final de cada uma das quatro rampas definidas (Juana *et al.*, 2007). Ao medir a pressão nos porta-rampas e nas rampas, há que ter em conta se a tubagem está a favor ou contra o declive do terreno. Se o porta-rampas estiver nivelado ou com declive negativo (a descer), a pressão mais desfavorável deve ser medida no final do mesmo, onde se inicia a última rampa. Se o porta-rampas estiver com declive positivo (a subir) e o declive for superior às perdas de carga, a pressão mais desfavorável ocorre e deve ser medida na saída situada no início do porta-rampas (Fernández *et al.*, 2010).

No presente estudo foi apenas medida a pressão no fim de cada uma das rampas em estudo (Figura 11).



Figura 11: Medição das pressões, utilizando um manómetro

Na impossibilidade de medir a pressão no início das rampas, esta foi calculada considerando o valor teórico de 4 bar à saída da casa de rega e calculando a pressão à entrada de cada uma das 4 rampas em estudo, em cada sector, no caso da vinha. No olival foi calculada a pressão de 4,2 bar à entrada do porta-rampas, através da pressão medida na primeira rampa em estudo e fazendo o percurso inverso ao da água, tendo em conta a perda de carga na rampa e o desnível do porta-rampas. Para o efeito, calcularam-se, para todos os percursos da água de rega, as perdas de carga unitárias através da fórmula de Blasius (Eq. 10 e 11) (Cabello, 1987; Cardoso *et al.*, 2008; Coelho *et al.*, 2018) para PE e PVC, respectivamente:

$$j = 0,478 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (10)$$

$$j = 0,452 \times \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (11)$$

sendo que j representa a perda de carga unitária ($m.m^{-1}$), Q representa o caudal em $L.h^{-1}$ e D representa o diâmetro em mm. Esta fórmula apenas é válida para valores de número de Reynolds entre 3200 e 10^5

Para o cálculo da perda de carga contínua nas rampas (Eq. 12) foi necessário calcular para cada uma delas um factor de redução F , definido por Christiansen, que tem em consideração o número de saídas da rampa, uma vez que todas elas têm um número de saídas diferente (Eq 13).

$$J = j \times Lr \times F \quad (12)$$

Em que:

J – perda de carga contínua (m)

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

Lr – comprimento da rampa (m)

F – factor de redução F

$$F = \frac{1}{m + 1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m - 1}}{6N^2} \quad (13)$$

em que:

F – factor de redução F

m – expoente da velocidade (no caso da fórmula de Blasius ($m = 1,75$))

N – número de saídas (emissores) da rampa

Para o cálculo da perda de carga total, a perda de carga contínua foi majorada de 10% no porta-rampas e de 20% nas rampas de modo a ter em conta as perdas de carga acidentais (Eq 14 e 15).

$$\Delta H_{pr} = 1,1 \times J \quad (14)$$

$$\Delta H_r = 1,2 \times J \quad (15)$$

em que:

ΔH_{pr} – perda de carga total no porta-rampas

ΔH_r – perda de carga total na rampa

J - perda de carga contínua (m)

Sabendo a perda de carga nas rampas, foi possível, através do desnível, estimar a pressão existente à entrada e à saída de cada rampa (Eq. 16, 17, 18).

$$\text{porta-rampas} \quad \text{pressão entrada } pr = \text{pressão saída casa de rega} - \Delta Hc - \Delta N \quad (16)$$

$$\text{rampas} \quad Her_1 = \text{pressão entrada } pr - d \times j \quad (17)$$

$$Her_i = \text{pressão à entrada da rampa anterior} - \left(\frac{\Delta N_{pr}}{Lr} \times 2,5 \right) + (j_{pr} \times 2,5)$$

Em que:

Her_1 – pressão à entrada da primeira rampa

Her_i – pressão à entrada das outras rampas

ΔHc – perda de carga total na conduta principal

d – distância entre o início do porta-rampas e a saída para a primeira rampa

Lr – comprimento da rampa

ΔN – desnível entre o cabeçal de rega e o início do porta-rampas

ΔN_{pr} – desnível total do porta-rampas

j_{pr} – perda de carga unitária no porta-rampas

2,5 – distância entre rampas

$$Hsr = Her - \Delta Nr - \Delta Hr \quad (18)$$

Em que:

Hsr – pressão no final da rampa

Her – pressão à entrada da rampa

ΔNr – desnível na rampa

ΔHr – perda de carga total na rampa

Assim, obtiveram-se os valores de pressão estimados para o sistema a funcionar em pleno, para cada uma das 4 rampas em estudo, em cada sector. A pressão no início das rampas foi

estimada tendo em conta o desnível na rampa (1 bar = 10 m.c.a.) e as perdas de carga nas rampas. Uma vez determinada a pressão à entrada das rampas, foi possível determinar as diferenças de pressão no porta-rampas, pelo mesmo método. Os valores das medições dos débitos, assim como das pressões no fim de cada ramal, são apresentados na secção 5.8.

No fim de cada rampa, foi medida a pressão com recurso a um manómetro (0 a 10 bar) (Figura 12).



Figura 12: Esquema representativo das medições nas parcelas da vinha (à esquerda) e do olival (à direita). Os pontos encarnados representam as medições de caudais e os pontos brancos representam as medições das pressões

3.5.4. SISTEMA DE CONTROLO

A avaliação do sistema de controlo passa, em grande parte, por registar o tipo de sistema, quando existente, e a sua localização no sistema de rega. Os elementos deste sistema (reguladores, válvulas e outros) permitem controlar o caudal a aplicar e a passagem de água num determinado ponto da rede. Para garantir uma aplicação uniforme em todos os gotejadores, foi necessário comprovar o estado de todas as juntas de modo a excluir a possibilidade de existência de fugas. A avaliação do funcionamento dos diferentes elementos é fundamental para que se consigam aplicar as doses e os volumes de água adequados. Foi, também, necessário observar o estado de conservação das ligações elétricas de modo a corrigir corrosões ou danos (Fernández *et al.*, 2010). Procedeu-se, também, à limpeza do filtro de discos (Figura 13).

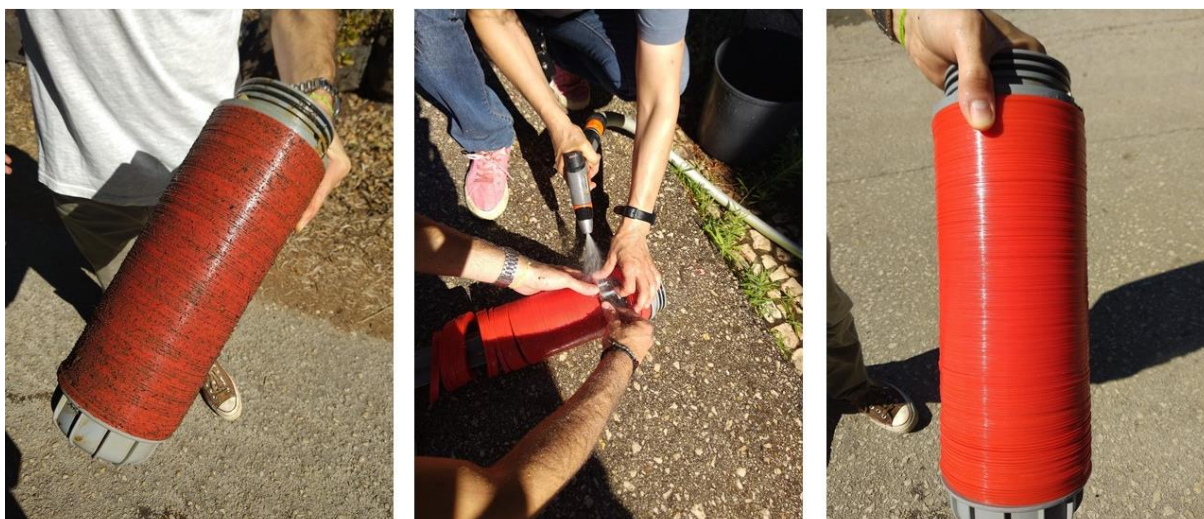


Figura 13: Limpeza do filtro de discos

Todas as medições foram realizadas quando a instalação estava a funcionar em regime estável, quer de pressão, quer de caudal. Para tal, as medições só foram iniciadas ao fim de 10 a 20 minutos após o início da rega, uma vez que a distância da casa de rega para os sectores a avaliar na vinha era de, aproximadamente, 90 m e da estação de bombagem até ao sector a avaliar no olival era de 260 m. O sistema não estava a funcionar em condições de caudal normal e, conseqüentemente, de pressão devido a uma rotura na conduta principal de abastecimento de todo o sistema e funcionamento defeituoso da respectiva válvula.

3.5.5. CÁLCULO DAS NECESSIDADES LÍQUIDAS DE REGA DAS CULTURAS E DO CAUDAL DE PROJECTO

Com o objectivo de calcular as necessidades de rega das culturas foi, primeiramente, necessário conhecer e determinar a evapotranspiração de referência e de seguida a evapotranspiração cultural da vinha e do olival. Para isso, recolheu-se uma série de dados climáticos de 30 anos (1977-2006) registados na estação meteorológica de Lisboa (Geofísico, 38° 43' N) (Fonte: IPMA). Foram considerados, para todos os anos, apenas os dados referentes ao mês de ponta (Julho). Importam, para o cálculo da ET_o (mm), os dados relativos à temperatura média do mês de ponta (T , °C), à humidade relativa média do mês (HR, %), à insolação (I , em horas), à velocidade do vento (medido a 2 m de altura, $m s^{-1}$); e, para o cálculo das necessidades de rega, também a precipitação (R , mm). O cálculo de ET_o foi realizado utilizando a equação FAO-Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) e os seus resultados são apresentados no Anexo 3.

Depois de calculada a ET_o , foi calculada a evapotranspiração cultural, ET_c . Para isto, foi necessário ajustar o coeficiente cultural médio (Eq. 19), o qual foi definido de acordo com a fração de cobertura ($f_c = 0.30$) e altura das plantas (2 m) como 0,50 para a vinha (Pereira *et al.*, 2021), e no caso do olival foi considerado um $K_{c\ mid} = 0,40$ quando em plena produção e

igual a 0,25 para o olival jovem (Rallo *et al.*, 2021). Usou-se o coeficiente médio $K_{c\ mid}$, pois no mês de ponta (Julho) as culturas encontram-se ambas no período intermédio do seu desenvolvimento, o qual se estende até Setembro (Rodrigues, 2011; Paço *et al.*, 2019). Para ajustar o coeficiente, foi fundamental conhecer a altura média da planta na fase final de desenvolvimento, a qual foi medida no campo: 2 m para a vinha e 1 m para o olival (Quadro 7 e Quadro 8).

$$K_{c\ mid} = K_{c\ mid\ tab} + 0,04 (u_2 - 2) - 0,004 (HR_{min} - 45) \times \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (19)$$

O valor de HR_{min} é, geralmente, inferior em 20% ao valor de HR_{med} , portanto, considerou-se o valor de 47% (Pereira, comunicação pessoal).

Quadro 7: Valores de $K_{c\ mid}$ ajustados para a vinha

Vinha			
		Médias	
		u₂ (m s⁻¹)	2,81
K_{c mid}	0,50	HR_{min} (%)	47,0
		h (m)	2
K_{c mid} (ajustado)*		0,54	

* valor ajustado usando a Eq. 19

Quadro 8: Valores de $K_{c\ mid}$ ajustados para o olival

Olival jovem				Olival em plena produção			
		Médias				Médias	
		u₂ (m s⁻¹)	2,81			u₂ (m s⁻¹)	2,81
K_{c mid}	0,25	HR_{min} (%)	47,0	K_{c mid}	0,40	HR_{min} (%)	47,0
		h (m)	1			h (m)	3-4
K_{c mid} (ajustado)*		0,28		K_{c mid} (ajustado)*		0,43	

* valor ajustado usando a Eq. 19

No caso do olival calcularam-se as necessidades hídricas para um olival jovem (situação actual) e para um olival em plena produção (situação futura). As necessidades líquidas de rega (NR, mm) das culturas foram calculadas com base nas evapotranspirações das culturas ET_c , sendo que $NR = ET_c - \text{precipitação}$. Os valores destas determinações são apresentados mais à frente na secção 6.2.

O caudal de projeto é então o valor que corresponde à satisfação das necessidades de rega da cultura correspondente a uma probabilidade de não excedência de 90% (frequência

empírica de Horton) (Oliveira, 1993a). Com esta informação podemos comentar a qualidade do dimensionamento dos sistemas e se estes têm capacidade para satisfazer as necessidades de rega das culturas em qualquer condição de procura climática.

Para o cálculo do caudal de projecto utilizou-se a Eq. 20 (Pereira, 2004; Oliveira, 2011):

$$q_p = \frac{ET_c \times A \times 31}{\varepsilon \times TR} \quad (20)$$

onde

q_p – caudal de projecto (L.h⁻¹)

ET_c – evapotranspiração cultural correspondente à satisfação das necessidades de rega para uma probabilidade de não excedência de 90% (mm.dia⁻¹)

A – área da parcela/sector (m²)

ε – eficiência de rega (%)

TR – tempo máximo disponível para rega por mês, para cada parcela (h/mês)

Para avaliar o dimensionamento do sistema, os caudais de projecto devem ser comparados com os caudais dos sistemas instalados em cada uma das culturas. Estes últimos obtêm-se através do produto entre o número de emissores de cada sistema de rega e o caudal debitado por emissor.

No que diz respeito às necessidades de rega das culturas, no caso da vinha é realizada uma rega deficitária ligeira até à fase de pintor, que coincide com a altura do estudo, com o objectivo de não promover novos crescimentos, mantendo uma boa abertura estomática. Durante a maturação o objectivo é não provocar senescência foliar na base da sebe para não expor em demasia os cachos pois são castas brancas em que se pretende manter a acidez e um bom nível aromático. Já o olival é regado para conforto, de modo a promover o desenvolvimento vegetativo, uma vez que se trata de um olival ainda jovem.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período em que se procedeu à avaliação do sistema de rega da vinha, ocorreu uma rotura na conduta principal de abastecimento do sistema que condicionou este estudo. A rotura permitiu a entrada de quantidades consideráveis de terra e cascalho que provocou a paragem do sistema para limpeza do filtro e reparação do medidor de caudal e da electroválvula colocada no início do cabeçal de rega do sistema. Depois de reparada a rotura e instalado um novo filtro no cabeçal de rega, verificou-se que havia uma redução do caudal provavelmente porque uma válvula de correição situada a montante do sistema teria ficado também danificada, deixando de abrir completamente. Este facto fez com que o sistema não tivesse caudal suficiente para abastecer as rampas para lá da rampa correspondente à linha 63 do sector 1 da vinha, o que por consequência fez com que a pressão no sistema fosse mais reduzida, perturbando, assim, o débito dos gotejadores, principalmente no sector 1 da vinha. Neste sentido, os resultados apresentados correspondem a um sistema em funcionamento deficiente.

De referir também que o sistema de rega da vinha foi, em tempos, abastecido por água da rede pública sem qualquer tipo de sistema de filtragem.

4.1. AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE REGA

Através da metodologia descrita no capítulo 3 foi possível, com base nas medições de campo, determinar, numa primeira fase, o caudal médio debitado por emissor e as pressões no fim de cada rampa (Quadros 9 e 10 para a vinha e Quadros 11 e 12 para o olival).

Com base nos valores apresentados nos Quadros 9, 10, 11 e 12 foi possível analisar para os dois sistemas as variabilidades dos volumes debitados pelos emissores e fazer uma análise rampa a rampa (Figuras 14 e 15) e determinaram-se a uniformidade e as dotações de rega (Quadro 13).

Baixos valores de uniformidade podem dever-se principalmente, segundo Fernández *et al.* (2010), a: variações no caudal debitado pelos emissores que podem ser causadas por factores como o coeficiente de variação de fabrico, defeitos na montagem dos emissores ou entupimentos; diferenças de pressão no sector devidas a perdas de carga ao longo do porta-rampas e rampas e, também, devido a factores topográficos; diferenças de pressão entre sectores devidas à ausência de reguladores de pressão na entrada de cada sector, ou ao seu mau funcionamento e/ou má gestão, ou ao mau dimensionamento da rede secundária. No presente caso, as variações no caudal debitado deveram-se ao entupimento dos emissores, a perdas de carga e diferenças de pressão.

Determinaram-se, também, para ambos os sistemas as dotações por rega de cada sector com base nos volumes recolhidos e caudais calculados (Quadros 9 e 10 e Quadros 11 e 12). Obtiveram-se valores de 1,79 e 1,96 mm para os sectores 1 e 2 da vinha, respectivamente e de 1,84 mm para o olival (Quadro 13).

VINHA

O caudal nominal dos emissores instalados no sistema da vinha é suposto ser de 2,5 L.h⁻¹. Determinaram-se caudais médios debitados por emissor de 2,23 L.h⁻¹ e 2,45 L.h⁻¹ nos sectores 1 e 2 da vinha, respectivamente, os quais se encontram abaixo do caudal específico dos emissores. O valor do caudal nominal deve ser tomado como referência quando se analisam os resultados da Figura 14.

No sector 1 da vinha, praticamente todos os volumes recolhidos nos emissores estão abaixo do valor de referência (55/64 emissores), o que evidencia um problema de entupimentos ao nível dos emissores e possivelmente das condutas. Também pelas médias dos volumes recolhidos nas 4 rampas avaliadas (2,38 L.h⁻¹, 2,10 L.h⁻¹, 2,34 L.h⁻¹ e 2,10 L.h⁻¹) podemos afirmar que existe um problema de entupimentos, pois todos os valores são inferiores a 2,5 L.h⁻¹. Também o facto de existir variabilidade no débito dos emissores, isto é, uns emissores debitarem menos que o suposto, é um indicador do problema de entupimentos do sector, uma vez que estes emissores são autocompensantes e, como tal, não deveriam apresentar variabilidade nos débitos, para pressões dentro da gama de valores de funcionamento indicada pelo fabricante. No caso dos emissores que debitaram um caudal maior devem-se a escorrências, mesmo colocando uma braçadeira em cada emissor.

Algumas rampas do sector 1 da vinha (51-57 inclusive) foram sujeitas, no passado, a um ensaio no qual as linhas foram regadas com recurso a águas residuais tratadas. Contudo, os valores observados na rampa 52, com uma média de 2,34 ($\pm 0,11$) L.h⁻¹, parecem indicar que aquele ensaio não se refletiu em entupimentos e deste modo nos volumes recolhidos. De referir que, no futuro, sempre que as culturas sejam alvos de ensaios, deverá garantir-se que não comprometam de forma alguma o correcto funcionamento dos sistemas de rega.

No sector 2, os volumes recolhidos apresentam igualmente uma variabilidade considerável, de 0,60 a 3,42 L.h⁻¹. Na rampa 10 em concreto, a que apresenta um caudal médio mais baixo (1,94 \pm 0,19 L.h⁻¹), tanto se observam valores na ordem dos 0,60 L.h⁻¹ (entupimentos) como na ordem dos 2,94 L.h⁻¹ (escorrência ao longo da tubagem que nem as braçadeiras colocadas impediram). Esta variabilidade de volumes deve-se a um problema de entupimentos também neste sector e à pior qualidade dos emissores, que são mais antigos e, assim, apresentarem maior desgaste.

Os caudais médios debitados por emissor reflectem uniformidades de distribuição de 83,0 % e 65,0 % nos sectores 1 e 2 da vinha (média de 74,0 %), muito inferior a 92% observado por Vitorino (2015). Valores estes que, segundo Fernández *et al.* (2010), se consideram aceitável e inaceitável para os sectores 1 e 2 da vinha, respectivamente.

No presente estudo, os baixos valores dos caudais médios debitados por emissor e, conseqüentemente, de uniformidade nos sectores da vinha devem-se, principalmente a um problema generalizado de entupimentos. Na análise dos valores de uniformidade do sistema de rega da vinha, não se pode ignorar que, devido ao incidente anteriormente referido, na altura da avaliação o sistema não conseguia fornecer o caudal necessário para regar o sector da vinha que se encontra a maior cota (sector 1) dado se verificarem pressões inferiores a 2 bar no cabeçal, sendo, portanto, impossível realizar a rega automaticamente, já que o pressostato interrompe o fornecimento de água nessas condições. A rega teve assim que ser feita abrindo manualmente as electroválvulas. Desta forma, a parte com cota mais elevada do sector não era regada e verificaram-se pressões reduzidas nas rampas, como se pode observar no quadro 9, estando os gotejadores na maior parte do sector a trabalhar ligeiramente acima do seu limite mínimo de funcionamento (1/1,5 bar) ou mesmo no limite (0,5 bar), como se verificou na rampa 63.

Quadro 9: Volumes recolhidos nos emissores durante 1 minuto, e pressões no fim das rampas da vinha, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos

SECTOR1											
Rampa 30 (início da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 41 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 52 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 63 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)
Início da rampa	Gotejador 1	29,00	Início da rampa	Gotejador 1	34,00	Início da rampa	Gotejador 1	36,00	Início da rampa	Gotejador 1	34,00
	Gotejador 2	42,00		Gotejador 2	38,00		Gotejador 2	38,00		Gotejador 2	26,00
	Gotejador 3	36,00		Gotejador 3	34,00		Gotejador 3	38,00		Gotejador 3	27,00
	Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	34,00		Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	33,00
		35,75 (± 2,66)			35,00 (± 1,00)			37,00 (± 0,58)		30,00 (± 2,04)	
1/3 do comprimento	Gotejador 1	42,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	35,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	36,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	32,00
	Gotejador 2	38,00		Gotejador 2	36,00		Gotejador 2	38,00		Gotejador 2	34,00
	Gotejador 3	34,00		Gotejador 3	34,00		Gotejador 3	37,00		Gotejador 3	30,00
	Gotejador 4	34,00		Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	32,00
		37,00 (± 1,91)			35,25 (± 0,48)			36,75 (± 0,49)		32,00 (± 0,82)	
2/3 do comprimento	Gotejador 1	36,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	34,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	48,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	48,00
	Gotejador 2	37,00		Gotejador 2	36,00		Gotejador 2	47,00		Gotejador 2	35,00
	Gotejador 3	33,00		Gotejador 3	34,00		Gotejador 3	39,00		Gotejador 3	34,00
	Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	38,00		Gotejador 4	60,00
		35,50 (± 0,87)			35,00 (± 0,58)			43,00 (± 2,61)		44,25 (± 6,14)	
Fim da rampa	Gotejador 1	68,00	Fim da rampa	Gotejador 1	35,00	Fim da rampa	Gotejador 1	35,00	Fim da rampa	Gotejador 1	40,00
	Gotejador 2	66,00		Gotejador 2	36,00		Gotejador 2	33,00		Gotejador 2	36,00
	Gotejador 3	38,00		Gotejador 3	32,00		Gotejador 3	29,00		Gotejador 3	28,00
	Gotejador 4	30,00		Gotejador 4	36,00		Gotejador 4	60,00		Gotejador 4	32,00
		50,50 (± 9,67)			34,75 (± 0,95)			39,25 (± 7,03)		34,00 (± 2,58)	
Pressão no fim da rampa		1,5 bar	Pressão no fim da rampa		1,5 bar	Pressão no fim da rampa		1 bar	Pressão no fim da rampa		0,5 bar
Média da rampa		41,00 (± 2,81)	Média da rampa		35,00 (± 1,41)	Média da rampa		39,67 (± 1,81)	Média da rampa		36,75 (± 2,11)

(continua)

(continuação Quadro 9)

SECTOR2											
Rampa 1 (início da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 10 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 20 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 29 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)
Início da rampa	Gotejador 1	47,00	Início da rampa	Gotejador 1	43,00	Início da rampa	Gotejador 1	35,00	Início da rampa	Gotejador 1	48,00
	Gotejador 2	42,00		Gotejador 2	35,00		Gotejador 2	40,00		Gotejador 2	48,00
	Gotejador 3	50,00		Gotejador 3	45,00		Gotejador 3	51,00		Gotejador 3	44,00
	Gotejador 4	48,00		Gotejador 4	46,00		Gotejador 4	50,00		Gotejador 4	47,00
		46,75 (± 1,70)			42,25 (± 2,50)			44,00 (± 3,89)			46,75 (± 0,97)
1/3 do comprimento	Gotejador 1	47,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	49,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	46,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	42,00
	Gotejador 2	47,00		Gotejador 2	28,00		Gotejador 2	43,00		Gotejador 2	38,00
	Gotejador 3	48,00		Gotejador 3	10,00		Gotejador 3	50,00		Gotejador 3	51,00
	Gotejador 4	46,00		Gotejador 4	15,00		Gotejador 4	46,00		Gotejador 4	40,00
		47,00 (± 0,41)			25,50 (± 8,70)			46,25 (± 1,44)			42,75 (± 2,87)
2/3 do comprimento	Gotejador 1	28,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	46,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	45,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	43,00
	Gotejador 2	35,00		Gotejador 2	18,00		Gotejador 2	44,00		Gotejador 2	36,00
	Gotejador 2	57,00		Gotejador 3	33,00		Gotejador 3	32,00		Gotejador 3	49,00
	Gotejador 3	46,00		Gotejador 4	14,00		Gotejador 4	43,00		Gotejador 4	48,00
		41,50 (± 6,36)			27,75 (± 7,33)			41,00 (± 3,03)			44,00 (± 2,97)
Fim da rampa	Gotejador 1	41,00	Fim da rampa	Gotejador 1	38,00	Fim da rampa	Gotejador 1	22,00	Fim da Rampa	Gotejador 1	45,00
	Gotejador 2	45,00		Gotejador 2	26,00		Gotejador 2	48,00		Gotejador 2	47,00
	Gotejador 3	45,00		Gotejador 3	39,00		Gotejador 3	41,00		Gotejador 3	43,00
	Gotejador 3	48,00		Gotejador 4	33,00		Gotejador 4	48,00		Gotejador 4	26,00
		44,75 (± 1,44)			34,00 (± 2,97)			39,75 (± 6,14)			40,25 (± 4,82)
Pressão no fim da rampa		3,8 bar	Pressão no fim da rampa		3,6 bar	Pressão no fim da rampa		3,6 bar	Pressão no fim da rampa		3,4 bar
Média da rampa		44,42 (± 1,61)	Média da rampa		29,08 (± 3,17)	Média da rampa		42,33 (± 1,91)	Média da rampa		42,33 (± 1,56)

Quadro 10: Caudais recolhidos nos emissores ($L \cdot h^{-1}$) e pressões no fim das rampas da vinha, assim como as médias dos caudais dos emissores nos vários pontos

SECTOR1											
Rampa 30 (início da lateral)	Posição do gotejador	Caudal ($L \cdot h^{-1}$)	Rampa 41 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Caudal ($L \cdot h^{-1}$)	Rampa 52 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Caudal ($L \cdot h^{-1}$)	Rampa 63 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Caudal ($L \cdot h^{-1}$)
Início da rampa	Gotejador 1	1,74	Início da rampa	Gotejador 1	2,04	Início da rampa	Gotejador 1	2,16	Início da rampa	Gotejador 1	2,04
	Gotejador 2	2,52		Gotejador 2	2,28		Gotejador 2	2,28		Gotejador 2	1,56
	Gotejador 3	2,16		Gotejador 3	2,04		Gotejador 3	2,28		Gotejador 3	1,62
	Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	2,04		Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	1,98
		2,15 ($\pm 0,16$)			2,10 ($\pm 0,06$)			2,22 ($\pm 0,03$)			1,80 ($\pm 0,12$)
1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,52	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,10	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,16	1/3 do comprimento	Gotejador 1	1,92
	Gotejador 2	2,28		Gotejador 2	2,16		Gotejador 2	2,28		Gotejador 2	2,04
	Gotejador 3	2,04		Gotejador 3	2,04		Gotejador 3	2,22		Gotejador 3	1,80
	Gotejador 4	2,04		Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	1,92
		2,22 ($\pm 0,11$)			2,12 ($\pm 0,03$)			2,21 ($\pm 0,03$)			1,92 ($\pm 0,05$)
2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,16	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,04	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,88	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,88
	Gotejador 2	2,22		Gotejador 2	2,16		Gotejador 2	2,82		Gotejador 2	2,10
	Gotejador 3	1,98		Gotejador 3	2,04		Gotejador 3	2,34		Gotejador 3	2,04
	Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	2,28		Gotejador 4	3,60
		2,13 ($\pm 0,05$)			2,10 ($\pm 0,03$)			2,58 ($\pm 0,17$)			2,66 ($\pm 0,37$)
Fim da rampa	Gotejador 1	4,08	Fim da rampa	Gotejador 1	2,10	Fim da rampa	Gotejador 1	2,10	Fim da rampa	Gotejador 1	2,40
	Gotejador 2	3,96		Gotejador 2	2,16		Gotejador 2	1,98		Gotejador 2	2,16
	Gotejador 3	2,28		Gotejador 3	1,92		Gotejador 3	1,74		Gotejador 3	1,68
	Gotejador 4	1,80		Gotejador 4	2,16		Gotejador 4	3,60		Gotejador 4	1,92
		3,03 ($\pm 0,58$)			2,09 ($\pm 0,06$)			2,36 ($\pm 0,42$)			2,04 ($\pm 0,15$)
Pressão no fim da rampa		1,5 bar	Pressão no fim da rampa		1,5 bar	Pressão no fim da rampa		1 bar	Pressão no fim da rampa		0,5 bar
Média da rampa		2,38 ($\pm 0,17$)	Média da rampa		2,10 ($\pm 0,02$)	Média da rampa		2,34 ($\pm 0,11$)	Média da rampa		2,10 ($\pm 0,13$)

(continuação Quadro 10)

SECTOR2											
Rampa 1 (início da lateral)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 10 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 20 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 29 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)
Início da rampa	Gotejador 1	2,82	Início da rampa	Gotejador 1	2,58	Início da rampa	Gotejador 1	2,10	Início da rampa	Gotejador 1	2,88
	Gotejador 2	2,52		Gotejador 2	2,10		Gotejador 2	2,40		Gotejador 2	2,88
	Gotejador 3	3,00		Gotejador 3	2,70		Gotejador 3	3,06		Gotejador 3	2,64
	Gotejador 4	2,88		Gotejador 4	2,76		Gotejador 4	3,00		Gotejador 4	2,82
		2,81 (± 0,10)			2,54 (± 0,15)			2,64 (± 0,23)			2,81 (± 0,06)
1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,82	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,94	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,76	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,52
	Gotejador 2	2,82		Gotejador 2	1,68		Gotejador 2	2,58		Gotejador 2	2,28
	Gotejador 3	2,88		Gotejador 3	0,60		Gotejador 3	3,00		Gotejador 3	3,06
	Gotejador 4	2,76		Gotejador 4	0,90		Gotejador 4	2,76		Gotejador 4	2,40
		2,82 (± 0,02)			1,53 (± 0,52)			2,78 (± 0,09)			2,57 (± 0,17)
2/3 do comprimento	Gotejador 1	1,68	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,76	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,70	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,58
	Gotejador 2	2,10		Gotejador 2	1,08		Gotejador 2	2,64		Gotejador 2	2,16
	Gotejador 2	3,42		Gotejador 3	1,98		Gotejador 3	1,92		Gotejador 3	2,94
	Gotejador 3	2,76		Gotejador 4	0,84		Gotejador 4	2,58		Gotejador 4	2,88
		2,49 (± 0,38)			1,67 (± 0,44)			2,46 (± 0,18)			2,64 (± 0,18)
Fim da rampa	Gotejador 1	2,46	Fim da rampa	Gotejador 1	2,28	Fim da rampa	Gotejador 1	1,32	Fim da Rampa	Gotejador 1	2,70
	Gotejador 2	2,70		Gotejador 2	1,56		Gotejador 2	2,88		Gotejador 2	2,82
	Gotejador 3	2,70		Gotejador 3	2,34		Gotejador 3	2,46		Gotejador 3	2,58
	Gotejador 3	2,88		Gotejador 4	1,98		Gotejador 4	2,88		Gotejador 4	1,56
		2,69 (± 0,09)			2,04 (± 0,18)			2,39 (± 0,37)			2,42 (± 0,29)
Pressão no fim da rampa		3,8 bar	Pressão no fim da rampa		3,6 bar	Pressão no fim da rampa		3,6 bar	Pressão no fim da rampa		3,4 bar
Média da rampa		2,70 (± 0,10)	Média da rampa		1,94 (± 0,19)	Média da rampa		2,57 (± 0,11)	Média da rampa		2,61 (± 0,09)

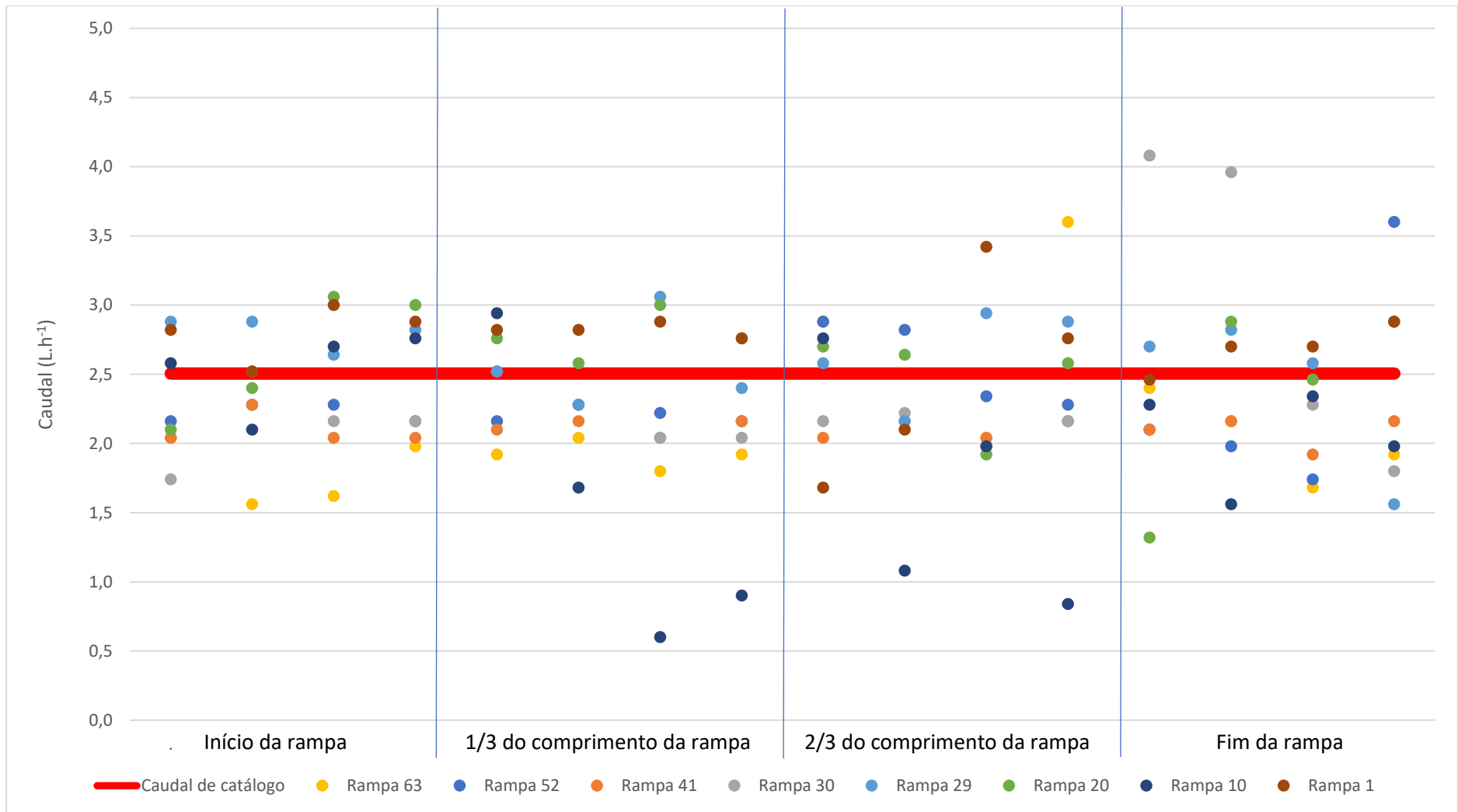


Figura 14: Variabilidade dos caudais debitados pelos emissores na vinha

OLIVAL

No olival determinaram-se caudais médios debitados por emissor tendo-se obtido um valor de $2,54 \text{ L.h}^{-1}$, valor que se encontra acima do caudal específico dos emissores ($2,3 \text{ L.h}^{-1}$). É este o valor que se deve ter como referência quando se analisam os resultados da Figura 15. A maioria dos volumes recolhidos no olival encontram-se acima do valor do caudal específico (60/64 emissores) (Quadros 11 e 12). Os valores apresentam uma variabilidade relativamente reduzida, de $2,10$ a $2,76 \text{ L.h}^{-1}$, o que confirma que os emissores são autocompensantes e que não existem entupimentos. Os valores mais elevados dos volumes recolhidos podem dever-se ao facto de não existirem reguladores de pressão, estando o sistema a operar a pressões acima dos valores indicados pelo fabricante.

Os caudais médios debitados por emissor reflectem uniformidades de distribuição de $96,9 \%$, valor este que se considera excelente, segundo Fernández *et al.* (2010). Observou-se, assim, que o olival à data do estudo não apresenta quaisquer problemas no que toca à uniformidade do sistema de rega. A não existência de um sistema de filtragem não se apresentou, à data do estudo, como um problema, uma vez que o sistema foi instalado recentemente não estando a ser ainda afectado por impurezas, como as resultantes da fertirrega, e a água do reservatório é de boa qualidade e não tem presença de algas ou outros materiais orgânicos. Não obstante, num futuro próximo, é muito provável que o sistema apresente problemas de entupimentos, uma vez que este não possui qualquer sistema de filtragem.

Quadro 11: Volumes recolhidos nos emissores, durante 1 minuto, e pressões no fim das rampas do olival, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos

SECTOR ÚNICO											
Rampa 2 (início da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 5 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 8 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Volume (mL)	Rampa 10 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Volume (mL)
Início da rampa	Gotejador 1	42,00	Início da rampa	Gotejador 1	44,00	Início da rampa	Gotejador 1	45,00	Início da rampa	Gotejador 1	43,00
	Gotejador 2	44,00		Gotejador 2	43,00		Gotejador 2	43,00		Gotejador 2	44,00
	Gotejador 3	38,00		Gotejador 3	42,00		Gotejador 3	42,00		Gotejador 3	38,00
	Gotejador 4	45,00		Gotejador 4	35,00		Gotejador 4	42,00		Gotejador 4	42,00
		42,25 (± 1,55)			41,00 (± 2,04)			43,00 (± 0,71)			41,75 (± 1,31)
1/3 do comprimento	Gotejador 1	43,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	43,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	40,00	1/3 do comprimento	Gotejador 1	42,00
	Gotejador 2	44,00		Gotejador 2	42,00		Gotejador 2	43,00		Gotejador 2	43,00
	Gotejador 3	44,00		Gotejador 3	45,00		Gotejador 3	41,00		Gotejador 3	45,00
	Gotejador 4	44,00		Gotejador 4	42,00		Gotejador 4	45,00		Gotejador 4	38,00
		43,75 (± 0,25)			43,00 (± 0,71)			42,25 (± 1,11)			42,00 (± 1,47)
2/3 do comprimento	Gotejador 1	40,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	43,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	40,00	2/3 do comprimento	Gotejador 1	42,00
	Gotejador 2	42,00		Gotejador 2	41,00		Gotejador 2	42,00		Gotejador 2	41,00
	Gotejador 3	42,00		Gotejador 3	43,00		Gotejador 3	40,00		Gotejador 3	45,00
	Gotejador 4	41,00		Gotejador 4	45,00		Gotejador 4	44,00		Gotejador 4	43,00
		41,25 (± 0,48)			43,00 (± 0,82)			41,50 (± 0,96)			42,75 (± 0,85)
Fim da rampa	Gotejador 1	42,00	Fim da rampa	Gotejador 1	42,00	Fim da rampa	Gotejador 1	42,00	Fim da rampa	Gotejador 1	42,00
	Gotejador 2	41,00		Gotejador 2	41,00		Gotejador 2	46,00		Gotejador 2	41,00
	Gotejador 3	43,00		Gotejador 3	43,00		Gotejador 3	44,00		Gotejador 3	45,00
	Gotejador 4	43,00		Gotejador 4	40,00		Gotejador 4	42,00		Gotejador 4	38,00
		42,25 (± 0,48)			41,50 (± 0,65)			43,50 (± 0,98)			41,50 (± 1,44)
Pressão no fim da rampa		4,5 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar
Média da rampa		42,38 (± 0,45)	Média da rampa		42,13 (± 0,58)	Média da rampa		42,56 (± 0,45)	Média da rampa		42,00 (± 0,59)

Quadro 12: Caudais recolhidos nos emissores ($L.h^{-1}$) e pressões no fim das rampas do olival, assim como as médias dos volumes dos emissores nos vários pontos

SECTOR ÚNICO											
Rampa 2 (início da lateral)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 5 (equivalente a 1/3)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 8 (equivalente a 2/3)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)	Rampa 10 (fim da lateral)	Posição do gotejador	Caudal (L.h-1)
Início da rampa	Gotejador 1	2,52	Início da rampa	Gotejador 1	2,64	Início da rampa	Gotejador 1	2,70	Início da rampa	Gotejador 1	2,58
	Gotejador 2	2,64		Gotejador 2	2,58		Gotejador 2	2,58		Gotejador 2	2,64
	Gotejador 3	2,28		Gotejador 3	2,52		Gotejador 3	2,52		Gotejador 3	2,28
	Gotejador 4	2,70		Gotejador 4	2,10		Gotejador 4	2,52		Gotejador 4	2,52
		2,54 (± 0,09)			2,46 (± 0,12)			2,58 (± 0,04)			2,51 (± 0,08)
1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,58	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,58	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,40	1/3 do comprimento	Gotejador 1	2,52
	Gotejador 2	2,64		Gotejador 2	2,52		Gotejador 2	2,58		Gotejador 2	2,58
	Gotejador 3	2,64		Gotejador 3	2,70		Gotejador 3	2,46		Gotejador 3	2,70
	Gotejador 4	2,64		Gotejador 4	2,52		Gotejador 4	2,70		Gotejador 4	2,28
		2,63 (± 0,02)			2,58 (± 0,04)			2,54 (± 0,07)			2,52 (± 0,04)
2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,40	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,58	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,40	2/3 do comprimento	Gotejador 1	2,52
	Gotejador 2	2,52		Gotejador 2	2,46		Gotejador 2	2,52		Gotejador 2	2,46
	Gotejador 3	2,52		Gotejador 3	2,58		Gotejador 3	2,40		Gotejador 3	2,70
	Gotejador 4	2,46		Gotejador 4	2,70		Gotejador 4	2,64		Gotejador 4	2,58
		2,48 (± 0,03)			2,58 (± 0,05)			2,49 (± 0,06)			2,57 (± 0,05)
Fim da rampa	Gotejador 1	2,52	Fim da rampa	Gotejador 1	2,52	Fim da rampa	Gotejador 1	2,52	Fim da rampa	Gotejador 1	2,52
	Gotejador 2	2,46		Gotejador 2	2,46		Gotejador 2	2,76		Gotejador 2	2,46
	Gotejador 3	2,58		Gotejador 3	2,58		Gotejador 3	2,64		Gotejador 3	2,70
	Gotejador 4	2,58		Gotejador 4	2,40		Gotejador 4	2,52		Gotejador 4	2,28
		2,54 (± 0,03)			2,49 (± 0,04)			2,61 (± 0,06)			2,49 (± 0,09)
Pressão no fim da rampa		4,5 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar	Pressão no fim da rampa		4 bar
Média da rampa		2,54 (± 0,03)	Média da rampa		2,53 (± 0,04)	Média da rampa		2,55 (± 0,03)	Média da rampa		2,52 (± 0,04)

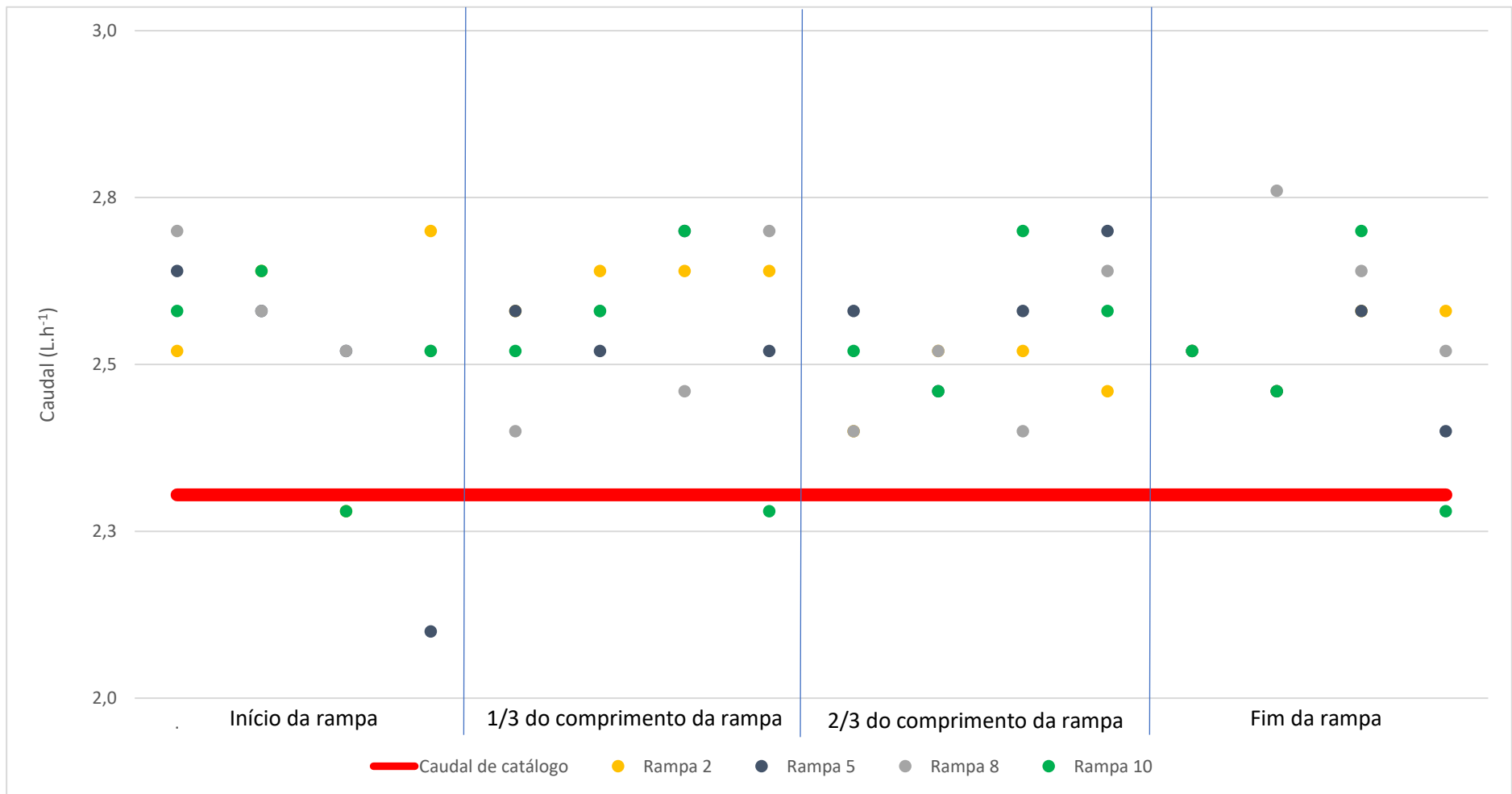


Figura 15: Variabilidade dos caudais debitados pelos emissores no olival

Quadro 13: Volume médio recolhido (V_{med}), Caudal médio (q_{med}), Volume médio recolhido no quartil inferior (V_{min}); Caudal médio recolhido no quartil mínimo (q_{Min}), Uniformidade de distribuição (UD); e Dotação aplicada (D).

	Vinha Sector 1	Vinha Sector 2	Olival Sector único
V_{med} (mL)	37,19 ($\pm 1,00$)	40,89 ($\pm 1,22$)	42,27 ($\pm 0,26$)
q_{med} (L.h ⁻¹)	2,23	2,45	2,54
V_{min} (mL)	30,88	26,63	40,94
q_{Min} (L.h ⁻¹)	1,85	1,60	2,46
UD (%)	83,0	65,0	96,9
D (mm.h ⁻¹)	0.89	0.98	0.93
D (mm)	1,79	1,96	3.23

4.2. PRESSÃO NAS RAMPAS

As pressões médias medidas nos diversos sectores são apresentadas no Quadro 14 e as perdas de carga calculadas para a vinha e para o olival são apresentadas no Quadro 15 e no Quadro 16, respectivamente, segundo a metodologia de cálculo das perdas de carga e recorrendo as equações 15 e 16, como é descrito na subsecção 3.5.3.

VINHA

Depois de medidas as pressões no fim de cada rampa em estudo (Quadro 14), os valores foram comparados com o valor teórico que corresponderia aos valores expectáveis de pressão nas rampas caso o sistema estivesse em condições normais de funcionamento (Quadro 15). Esta diferença de pressão tem maior expressão na rampa 63, sendo a rampa que está à cota mais elevada. Nesta rampa a pressão medida no fim da rampa foi de 0,5 bar. Em condições normais de funcionamento do sistema, a pressão deveria ser 1,78 bar (Quadro 15). As reduzidas pressões do sistema promovem a variação de débito dos emissores, em concreto, na rampa 63, sendo que estes funcionam como autocompensantes para uma gama de pressão que se estima ser entre 1,0 e 4,0 bar com base no facto de a média dos volumes recolhidos nos gotejadores da rampa 63 a qual apresenta uma pressão de 0,5 bar, ser inferior à média dos volumes recolhidos nas rampas em que a pressão era maior, o que mostra que para esta pressão os gotejadores não são autocompensantes, sendo o caudal função da pressão. Este facto leva a variações de débitos nos emissores que afecta a uniformidade do sistema, os quais podem ser observados nos Quadros 9 e 10. O sector 2 da vinha, situado a cota inferior, apresenta maior variabilidade de débito dos emissores do que o sector 1, o que se traduz numa uniformidade de distribuição mais reduzida no sector 2 (65,0%) do que no sector 1 (83,0%).

O facto de os valores de pressão medidas no sector 1 serem consideravelmente inferiores aos valores esperados parece indicar que existem uma perda de carga adicional de 10 m algures na rede de distribuição, quer por obstrução de condutas quer por achatamento das mesmas devido à passagem de tratores agrícolas na vinha.

As reduzidas pressões observadas, aliadas a problemas de entupimentos em toda a rede, contribuem para os reduzidos valores de uniformidades apresentados neste estudo.

OLIVAL

Relativamente ao olival, observou-se, por comparação das pressões medidas com as pressões teóricas calculadas, que o valor de pressão no fim das rampas em estudo é ligeiramente superior ao valor teórico calculado. Uma vez que a pressão no sistema é regulada manualmente, seria aconselhável instalar um cabeçal de rega para o sistema que controle a pressão de forma automática e a mantenha estável durante as várias regas efectuadas.

Com uma uniformidade de caudais de 96,9 % e com pressões nas rampas em estudo na ordem dos 4 bar (Quadro 14), este sistema é um exemplo de um bom sistema de rega gota-a-gota.

Quadro 14: Valores médios medidos da pressão dos sistemas da vinha e do olival

	Vinha Sector 1	Vinha Sector 2	Olival Sector único
p_{med} (bar)	1,13 (\pm 0,07)	3,60 (\pm 0,21)	4,13 (\pm 0,11)

Quadro 15: Perdas de carga calculadas para o sistema de rega da vinha

	Linha	Comprimento (m)	Número de emissores	Caudal (L/h)	velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	factor F	Caudal porta-rampas (L/h)	J porta-rampas (m)	j (m/m)	J (m)	ΔHr (m)	ΔNr (m)	Her entrada (m)	Her fim (m)	Her fim (bar)	pressão medida (bar)	Δh (bar)
Sector 2	Conduta principal	87,03	2482	6205,0	1,37	36,8	1,000			0,07567	6,59	7,24	-3,0	40,0				
	Conduta PR	71,16	2482	6205,0	2,54	36,8							+4,0	35,8				
	linha 1	70,43	70	175,0	0,32	14,2	0,371	6205,0		0,01353	0,35	0,42	-5,0	35,7	40,2	4,02	3,8	0,22
	linha 10	75,69	76	190,0	0,34	14,2	0,37	4567,5	0,04427	0,01563	0,44	0,53	-6,0	33,1	38,6	3,86	3,6	0,26
	linha 20	82,73	83	207,5	0,37	14,2	0,37	2587,5	0,01638	0,01823	0,56	0,67	-8,0	31	38,3	3,83	3,6	0,23
	linha 29	114,69	115	287,5	0,52	14,2	0,368	287,5	0,00035	0,03226	1,36	1,63	-7,0	29,6	34,9	3,49	3,4	0,09
Sector 1	Conduta principal	87,03	2701	6752,5	1,76	36,8	1,000			0,08774	7,61	8,40	-3,0	40,0				
	Conduta PR	156,00	2701	6752,5	1,76	36,8							+14,0	35,4				
	linha 30	112,84	113	282,5	0,51	14,2	0,368	6752,5	0,08774	0,03129	1,30	1,56	-6,0	22,3	26,8	2,68	1,5	1,18
	linha 41	90,44	90	225,0	0,41	14,2	0,369	3922,5	0,00024	0,02101	0,70	0,84	-6,0	19,8	25,0	2,50	1,5	1,00
	linha 52	67,88	68	170,0	0,31	14,2	0,371	1717,5	0,00015	0,01286	0,32	0,39	-4,5	17,4	19,5	2,15	1,0	1,15
	linha 63	46,38	46	115,0	0,21	14,2	0,375	115,0	0,00008	0,00649	0,11	0,14	-3,0	14,9	17,8	1,78	0,5	1,28

Factor F – Factor de redução F de Christiansen; j – perda de carga unitária, J – perda de carga contínua; ΔHr – Perda de carga na rampa; ΔNr – desnível na rampa; Her – pressão à entrada da rampa; Δh – diferença de pressão (=valor calculado- valor medido)

Quadro 16: Perdas de carga calculadas para o sistema do olival

Linha	Comprimento (m)	Número de emissores	Caudal (L/h)	velocidade (m/s)	Diâmetro (mm)	factor F	Caudal porta-rampas (L/h)	j porta-rampas (m)	j (m/m)	J (m)	ΔH_r (m)	ΔN (m)	Her entrada (m)	Her fim (m)	Her fim (bar)	pressão medida (bar)	Δh (bar)
Conduta principal	225,6	787	1842,1	0,75	29,4	1,000			0,02482	5,59	6,15830	-3,0	42,0				
Conduta PR	50,6	787	1842,1	0,75	29,4							-4,0	36,8				
Linha 2	18,0	36	90,8	0,16	14,2	0,378	1805,3	0,02396	0,00429	0,03	0,04	-2,0	36,2	38,2	3,82	4,5	-0,68
Linha 5	49,5	99	235,7	0,43	14,2	0,369	1390,2	0,01517	0,02279	0,42	0,50	-3,0	34,6	37,1	3,71	4,0	-0,29
Linha 8	49,5	99	235,7	0,43	14,2	0,369	699,1	0,00455	0,02279	0,42	0,50	-3,0	33,2	35,7	3,57	4,0	-0,43
Linha 10	49,5	99	235,7	0,43	14,2	0,369	235,7	0,00068	0,02279	0,42	0,50	-3,0	34,23	34,8	3,48	4,0	-0,52

Factor F – Factor de redução F de Christiansen; j – perda de carga unitária, J – perda de carga contínua; ΔH_r – Perda de carga na rampa; ΔN_r – desnível na rampa; Her – pressão à entrada da rampa; Δh – diferença de pressão (=valor calculado- valor medido)

4.3. NECESSIDADES LÍQUIDAS DE REGA DAS CULTURAS E CAUDAL DE PROJECTO

Durante o período em que decorreu o estudo, que coincide com o mês de maior procura climática e maiores necessidades de água, fizeram-se os cálculos das necessidades de rega das culturas. As regas foram geridas consoante os objectivos para cada uma delas. No caso da vinha é geralmente realizada uma rega deficitária muito ligeira até à fase do pintor, que coincide com a altura do estudo, com o objectivo de não provocar novos crescimentos, mas manter uma adequada abertura estomática. Durante a maturação o objectivo é não provocar senescência foliar na base da sebe para não expor em demasia os cachos pois são castas brancas em que se pretende manter a acidez e um bom nível aromático. Já o olival é regado para conforto, de modo a promover o desenvolvimento vegetativo, uma vez que se trata de um olival ainda jovem. Os valores calculados das necessidades líquidas de rega das culturas são apresentados na Figura 16.

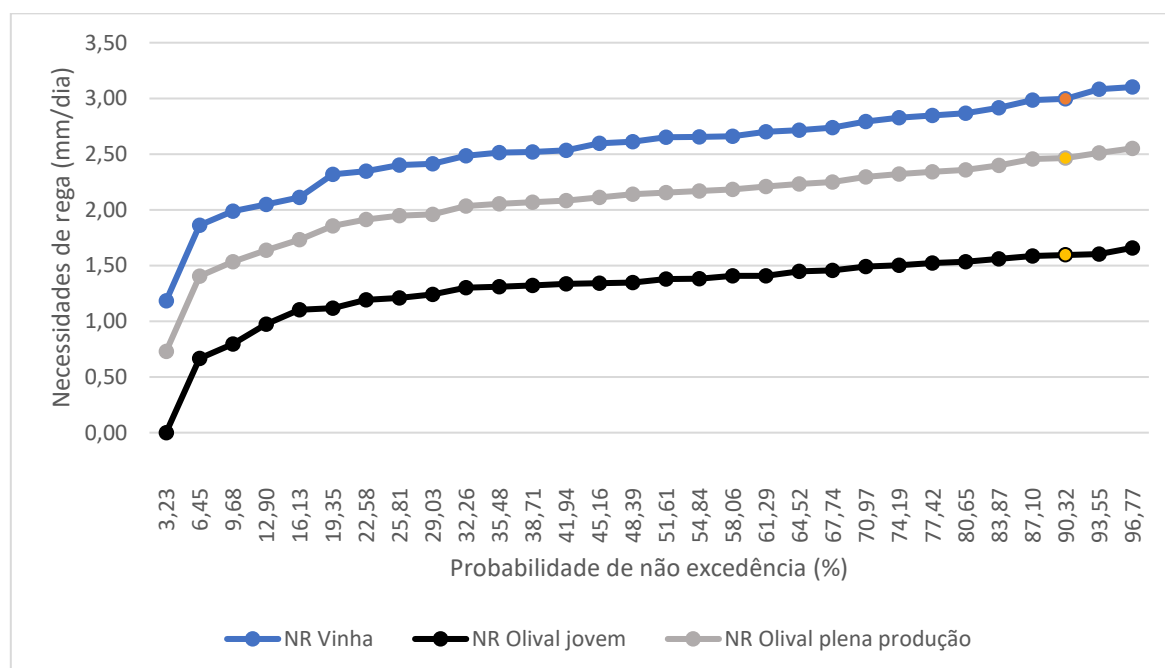


Figura 16: Necessidades hídricas das culturas tendo em conta a probabilidade de satisfação das necessidades de rega

O valor das necessidades líquidas de rega das culturas a ter em conta para o projecto do sistema de rega é aquele que corresponde à satisfação das necessidades de rega com uma probabilidade de não excedência de 90% dos anos da série considerada, como referido anteriormente. Consideraram-se, então, os valores de $3,00 \text{ mm.dia}^{-1}$, para a vinha, e $1,60 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o olival jovem e $2,46 \text{ mm.dia}^{-1}$, para o olival em plena produção (Figura 16). Assim, podemos dizer que, idealmente, no mês de ponta (Julho) deverá haver capacidade de fornecer às culturas uma dotação equivalente a estes valores. Contudo, estas dotações

correspondem a uma situação de conforto hídrico que, por opção de quem gere as regas, pode não ser o objectivo.

Estes valores foram comparados com os valores de dotação aplicadas de 1,88 mm para a vinha (média das dotações dos dois sectores da mesma) e 3,23 mm. para o olival (Quadro 17).

Quadro 17: Comparação entre os valores das necessidades líquidas de rega para conforto hídrico e a dotação equivalente para as diferentes culturas

	Necessidades líquidas de rega (mm.dia ⁻¹)	Dotação equivalente (mm.dia ⁻¹)
Vinha	3,00	1,09
Olival jovem	1,60	1,23

Quadro 18: Tempos de rega para conforto tendo em conta as necessidades hídricas das culturas

	Necessidades líquidas de rega (mm.dia ⁻¹)	Tempo máximo disponível para rega actual (opção de quem gere as regas) (h)	Tempo de rega para regar para conforto hídrico (h)
Vinha	3,00	2	6 (com o número de rega actual)
Olival plena produção	2,46	3,5	5 (alterando para 18 dias de regas por mês)

Com referido anteriormente, na vinha é, normalmente, realizada uma rega deficitária ligeira até à fase de pintor (fins de Julho), fase esta que coincide com o mês de ponta, período para o qual foi calculada a dotação. Na situação em concreto, verificou-se que a dotação aplicada (1,88 mm por rega) foi ao encontro ao objectivo de realizar uma rega deficitária, ainda que talvez não seja ligeira, uma vez que se regou o correspondente a 34,1% da ET_c para o mês de ponta, Julho de 2020 (3,20 mm.dia⁻¹). Apesar do problema de entupimentos no sistema, o sistema consegue responder aos objetivos de gestão de rega, ainda que a baixa uniformidade possa acarretar diferenças na qualidade da produção.

Para o cálculo do caudal de projecto das culturas consideram-se as evapotranspirações culturais relativas à satisfação das necessidades de rega correspondente a uma probabilidade de não excedência de 90%, 3,00 mm.dia⁻¹ na vinha e 2,46 mm.dia⁻¹ no olival em plena

produção/1.6 mm.dia⁻¹ no olival jovem. A vinha está dividida em dois sectores, cada um com cerca de 6000 m², e é regada 2 horas por dia de rega, num total de 18 dias por mês, enquanto o olival ocupa uma área de 0,2 ha e é actualmente regado 3,5 horas por rega, num total de 8 regas por mês. Em ambos os sistemas se considerou uma eficiência de rega de 90%. Os sistemas de rega instalados fornecem um caudal de 12957,5 L.h⁻¹ e de 1810,1 L.h⁻¹ no caso da vinha e do olival, respectivamente. Usando a Eq. 20 para determinar os tempos de rega necessários, obtêm-se os valores de cerca de 6 h por rega na vinha e 5 h no olival em plena produção, se se passar a regar o olival 18 dias por mês.

Tendo em conta que actualmente o tempo de rega na vinha é de 2 h, podemos dizer que o sistema está a ser gerido por defeito face às necessidades hídricas da cultura para conforto hídrico no mês de ponta (Julho). De referir que, sendo a vinha raramente regada para conforto hídrico dada a importância da qualidade do fruto para a produção de vinhos de qualidade, o facto de o tempo de rega estar abaixo do valor necessário para cobrir as necessidades hídricas da cultura poderá não ter o impacto que poderia ter noutra cultura, para além do facto de o nível real de stress hídrico depender também da capacidade da cultura em explorar as reservas hídricas do solo para lá da zona normalmente humedecida pela rega.

Também o tempo de rega do olival está aquém do necessário (5 h, passando a regar 18 dias por mês, versus as 3,5 h/ 8 dias de rega por mês actualmente praticadas). No futuro será assim de alterar o calendário de rega do olival, aumentando o número de dias de rega.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados obtidos demonstraram que a uniformidade de distribuição de água do sistema da vinha apresenta um valor baixo para um sistema de gota-a-gota. A rotura na conduta principal de abastecimento do sistema que foi depois responsável por um mau funcionamento do mesmo impediu-nos de avaliar o sistema numa situação de funcionamento em condições de caudal e pressão normais. A avaria de uma válvula na conduta principal, possivelmente devido aos materiais grosseiros que entraram na conduta, interferiram no caudal disponível para rega e conseqüentemente nas pressões de funcionamento do sistema, que sofreram ambos uma redução e que aliados à entrada de partículas sólidas no sistema afetaram negativamente a uniformidade do sistema que rega a vinha. Assim, o sistema de rega da vinha apresenta um problema generalizado de entupimentos. Dado a deterioração do sistema desde 2015 aliada ao problema generalizado de entupimentos, recomenda-se a substituição de todos os componentes da rede de distribuição do mesmo.

Para além da perda de caudal observado para todo o sistema, também a utilização de rega em simultâneo noutros espaço interfere com o caudal e, conseqüentemente, pressão disponível para o sistema da vinha. Este problema pode ser colmatado com a instalação de uma nova conduta que abasteça apenas o sistema da vinha

Em termos de adequação do sistema às necessidades de rega da vinha verificou-se que o mesmo tem condições para responder às necessidades, mas não da maneira como está a ser gerido. A gestão do sistema deve ser revista de modo a ir ao encontro dos tempos de rega necessários para satisfazer as necessidades da cultura nos períodos de ponta.

Ainda assim, na vinha observou-se que foi realizada uma rega deficitária, como era suposto ocorrer até à fase do pintor.

No olival, os resultados obtidos demonstraram que a uniformidade de distribuição do sistema apresenta um valor excelente e que o sistema funciona sem problemas, à data do estudo. Não obstante, uma vez que este funciona actualmente de forma inteiramente manual e sem qualquer tipo de controlo sobre a filtragem da água e sobre os entupimentos dos emissores, propõe-se a instalação de um cabeçal de rega com um sistema de filtragem adequado e que permita um controlo sobre os caudais e pressões de funcionamento do sistema.

O projecto apresenta-se, à semelhança do que acontece na vinha, capaz de satisfazer as necessidades de rega da cultura em ambas as fases de desenvolvimento consideradas (fase jovem e fase de plena produção) desde que gerido de outra forma. Assim, também a gestão da rega do olival deve ser revista de modo a satisfazer as necessidades hídricas da cultura em ambas as fases do seu desenvolvimento.

Este estudo reforça também a ideia de que o sistema existente na vinha não é actualmente adequado para os objectivos que determinaram a sua instalação ao nível da uniformidade de distribuição de água, já que o sistema de rega foi fortemente condicionado pela avaria anteriormente referida e se apresenta com elevado grau de entupimento dos emissores.

O sistema existente no olival é adequado para os objectivos que determinaram a sua instalação ao nível da uniformidade de rega. A dotação actual é adequada para a fase jovem em que o olival se encontra, se o objectivo for realizar uma rega deficitária, e poderá ser ajustada para uma fase de plena produção, aumentando, por exemplo, o tempo de rega.

Em suma, sistemas livres de problemas relacionados com entupimentos não só ao nível dos emissores, mas também ao nível de todas as tubagens do sistema são essenciais para uma boa uniformidade de distribuição de água.

De modo a obter um melhor funcionamento do sistema da vinha e do olival apresentam-se algumas sugestões:

Dados os entupimentos observados, causados por partículas de solo, é de considerar a substituição de todos os componentes da rede de distribuição do sistema da vinha (condutas e emissores).

A implantação de uma nova conduta directamente desde a fonte de água até à casa de rega irá permitir o total controlo da distribuição da água e assim garantir o fornecimento do caudal necessário a cada sector com uma pressão adequada. Esta solução assume-se como a principal sugestão para um correcto funcionamento de todo o sistema. Actualmente a conduta de abastecimento principal do sistema da vinha abastece também outras culturas, ainda que não em simultâneo, o que requer uma gestão de regas mais exigente.

Caso a solução acima referida não seja viável então a divisão do sistema da vinha em 3 sectores, diminuindo o caudal necessário para cada, poderá ser uma alternativa para regar todas as linhas da parcela da vinha, caso o sistema continue a funcionar com um caudal que não corresponde aquele que foi calculado aquando do dimensionamento do sistema de rega. Tal poderia ser conseguido utilizando um tubo já enterrado que se destinava a regar um pomar tradicional a instalar na parte de baixo do pomar de maceiras, o qual nunca chegou a ser instalado. Esse tubo poderia ser prolongado até à vinha, regando o sector de cota inferior. O tubo que actualmente alimenta o sector 2 poderia ter um pequeno prolongamento e passaria a alimentar o sector intermédio. Por último, o tubo que agora alimenta o sector 1 teria também um pequeno prolongamento e alimentaria o sector de maiores cotas. O tubo porta-rampas seria interrompido entre o sector inferior e o sector intermédio, sendo necessário fazer uma ligação na parte do sector intermédio que ficaria interrompida. Outra opção seria interromper

o tubo destinado a regar o sector 3 no mesmo sítio de onde saem, actualmente, os tubos para a vinha, de modo a reduzir a perda de carga no tubo que regaria o sector 3.

A gestão centralizada da rega da Tapada poderá evitar regas em simultâneo e, assim, proporcionar um melhor controlo do caudal disponível para regar cada cultura, assim como aliviar a exigente calendarização de regas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, 56, Roma, Itália. 300pp.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Smith, M., Raes, D., & Wright, J. L. (2005). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(1), 2–13.

Ascough, G. W., & Kiker, G. A. (2002). The effect of irrigation uniformity on irrigation water requirements. *Water SA* 28(2), 235–241.

Beltrão, J. (1979). *Rega gota-a-gota*. In A. M. Teixeira & c.^a (Filhos), Ida. Clássica Editora. 140pp.

Böhm, J. (Ed.). (2013). *O grande livro da oliveira e do azeite*, Portugal oleícola. Dinalivro editora Lisboa. 288pp.

Bralts, V. F., Edwards, D. M., & Wu, I.-P. (1987). Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. In: D. Hilel (Ed.), *Advances in Irrigation*. Academic Press, Inc. 389pp.

Bucks, D. A., Nakayama, F. S., & Gilbert, R. G. (1979). Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. *Agricultural Water Management*, 2, 149-162.

Burt C. M., A. J. Clemmens, R. Bliesner, J. L. Merriam, L. Hardy (2000). Drip/Micro Irrigation. Selection of irrigation methods for agriculture. ASCE, Virginia, EUA, 61-83.

Burt C. M., A. J. Clemmens, T. S. Strelkot, K. H. Solomon, R. D. Bliesner, L. A. Hardy, T. A. Howell, D. E. Eisenhauer (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 123(6), 423-442.

Cabello, F.P. (1987). *Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF)*. 1.ed. Madrid: Mundi-Prensa. 461pp.

Camp, C. R. (1998). Subsurface drip irrigation: A review. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 41(5), 1353–1367.

Camp, C. R., Sadler, E. J., & Busscher, W. J. (1997). A comparison of uniformity measures for drip irrigation systems. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 40(4), 1013–1020.

Capra, A., B. Scicolone (2018). Irrigation Scheduling Optimisation in Olive Groves. *Journal of Experimental Agriculture International* 28(4): 1-19.

Cardoso, G. G., Antônio, J. F., & Rezende, R. (2008). Fator de atrito em tubos de polietileno de pequenos diâmetros. *Acta Sci. Agron.* 30 (3), 299–305.

Chamba, D., Zubelzu, S., & Juana, L. (2019). Energy, cost and uniformity in the design of drip irrigation systems. *Biosystems Engineering*, 178, 200–218.

Clark, G. A., Lamm, F. R., & Rogers, D. H. (2005). Sensitivity of thin-walled drip tape emitter discharge to water temperature. *Applied Engineering in Agriculture* 21(5), 855–864.

Coelho, R. D., & Resende, R. S. (2001). Biological clogging of Netafim's drippers and recovering process through chlorination impact treatment. ASAE, Sacramento, EUA. 16pp.

Coelho A. P., Zanini, J. R., Faria, R. T., Darli, A. B., Palaretti, L. F. (2018). Comparação de equações para estimativa da perda de carga em tubulação de polietileno. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*. 11(1), 25-31.

Darouich, H., Pedras, C.M.G., Gonçalves, J.M., Pereira, L.S. (2014). Drip vs. surface irrigation: a comparison focusing on water saving and economic returns using multicriteria analysis applied to cotton. *Biosystems Engineering*, 122, 74-90.

Duran-Ros, M., Puig-Bargués, J., Arbat, G., Barragán, J., & Cartagena, F. R. (2009). Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management*, 96(1), 67–79.

Ella VB, Keller J, Reyes MR, Yoder R (2013). A low-cost pressure regulator for improving the water distribution uniformity of a microtube-type drip irrigation system. *Applied Engineering in*

Agriculture, 29(3), 343–349.

Elmaloglou, S., & Diamantopoulos, E. (2009). Effects of hysteresis on redistribution of soil moisture and deep percolation at continuous and pulse drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 96(3), 533–538.

Enciso-Medina, J., Multer, W. L., & Lamm, F. R. (2011). Management, Maintenance, and Water Quality Effects on the Long-term Performance of Subsurface Drip Irrigation Systems. *Applied Engineering in Agriculture*, 27(6), 969–978.

Fernández, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de riego para agricultores*. Junta de Andaluzia Consejería de Agricultura y pesca. Sevilla, Espanha. 472pp.

FAO (2007). *Handbook on pressurized irrigation techniques* (2nd ed.; FAO, Ed.). Roma, Itália. 282pp.

FAO (2014). *World Reference Base for Soil Resources 2014: International soil classification systems for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports No. 106. Roma, Itália. 193pp.

Hanson, B.R., Šimunek, J., Hopmans, J.W. (2006). Evaluation of urea–ammonium–nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modelling. *Agricultural Water Management* 86(1-2), 102–113.

Javed, Q., Arshad, M., Bakhsh, A., Shakoor, A., Chatha, Z. A., & Ahmad, I. (2015). Redesigning of drip irrigation system using locally manufactured material to control pipe losses for orchard. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* 13(1), 16–19.

Jordão, P. (2014). *Boas práticas no olival e no lagar* (INIAV, Ed.). Camarate. 290pp.

Juana, L., Rodríguez-Sinobas, L., Sánchez, R., & Losada, A. (2007). Evaluation of drip irrigation: Selection of emitters and hydraulic characterization of trapezoidal units. *Agricultural Water Management* 90(1–2), 13–26.

Keller, J., Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold, New York.

Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15(3), 259–263.

Lamm, F. R. (2002). Advantages and Disadvantages of Drip Irrigation. International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerto de La Cruz. 13pp.

Lord Jr., J. M., & Ayars, J. E. (2007). Evaluating Performance. In: *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*. ASABE St. Joseph, MI, EUA, 791-803.

Medina San Juan, J. A. (2000). *Riego por goteo*. Ediciones Mundi-Prensa. 302pp.

Merriam, J. L., & Keller, J. (1978). *Farm irrigation system evaluation: A guide for management*. 271pp. Utah State University, Logan, Utah

Minhas, P. S., Ramos, T. B., Ben-Gal, A., & Pereira, L. S. (2020). Coping with salinity in irrigated agriculture: Crop evapotranspiration and water management issues. *Agricultural Water Management* 227, 105832.

Muhammad, T., Zhou, B., Liu, Z., Chen, X., & Li, Y. (2020). Effects of phosphorus-fertigation on emitter clogging in drip irrigation system with saline water. *Agricultural Water Management* 243, 106392.

Nakayama, F. S., & Bucks, D. A. (1991). Water quality in drip/trickle irrigation: A review. *Irrigation Science* 12(4), 187–192.

Nassah, H., Er-Raki, S., Khabba, S., Fakir, Y., Raibi, F., Merlin, O., & Mougnot, B. (2018). Evaluation and analysis of deep percolation losses of drip irrigated citrus crops under non-saline and saline conditions in a semi-arid area. *Biosystems Engineering* 165(0), 10–24.

O'Brien, D.M., Rogers, D.H., Lamm, F.R., Clark, G.A. (1998). An economic comparison of subsurface drip and center pivot sprinkler irrigation systems. *Applied Engineering in Agriculture* 14,391–398.

O'Brien, D.M., Lamm, F.R., Rogers, D.H., Dumler, T.J. (2010). How Economic Factors Effect the Profitability of Center Pivot Sprinkler and SDI Systems. *Proceedings of the 22nd Annual Central Plains Irrigation Conference, Kearney, NE., February 23-24*, 97-109.

Oliveira, I. (1993a). *Técnicas de Regadio, Tomo I*, Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural. 618pp.

Oliveira, I. (1993b). *Técnicas de Regadio, Tomo II*, Instituto de Estruturas Agrárias e Desenvolvimento Rural. 560pp.

Oliveira, I. (2011a). *Vol. I. Técnicas de regadio, Teoria e Prática (2ª ed.)*, Beja, Portugal. 914pp.

Oliveira, I. (2011b). *Vol. II. Técnicas de regadio, Teoria e Prática (2ª ed.)*, Beja, Portugal. 963pp.

Orgaz, F., Testi, L., Villalobos, F. J., & Fereres, E. (2006). Water requirements of olive orchards-II: Determination of crop coefficients for irrigation scheduling. *Irrigation Science* 24(2), 77–84.

Paço, T. A., Paredes, P., Pereira, L. S., Silvestre, J., & Santos, F. L. (2019). Crop coefficients and transpiration of a super intensive Arbequina olive orchard using the dual Kc approach and the Kcb computation with the fraction of ground cover and height. *Water* 11(2), 383.

Papadopoulos (1996). *Micro-irrigation systems and fertigation. Sustainability of Irrigated Agriculture*. NATO ASI Series, Kluwer, Dordrecht, 309–322.

Pedras C.M.G., Pereira L.S. (2009). Multicriteria analysis for design of microirrigation systems. Application and sensitivity analysis. *Agriculture Water Management* 96: 702-710.

Pedras C.M.G., Pereira L.S., Gonçalves J.M. (2009). MIRRIG: A decision support system for design and evaluation of microirrigation systems. *Agricultural Water Management* 96: 691-701.

Pereira, L. S. (1999). Higher performance through combined improvements in irrigation methods and scheduling: A discussion. *Agricultural Water Management* 40(2–3), 153–169.

Pereira, L. S. (2004). *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Publicações Europa-América, Lda. 312pp.

Pereira, L.S., Trout, T.J., (1999). Irrigation methods. In: *CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. I: Land and Water Engineering*. ASAE, St. Joseph, pp. 279–379.

Pereira, L. S., Paredes, P., López-Urrea, R., Hunsaker, D. J., Mota, M., & Mohammadi Shad, Z. (2021a). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management* 243.

Pereira, L. S., Paredes, P., Hunsaker, D. J., López-Urrea, R., & Mohammadi Shad, Z. (2021b). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management* 243pp.

Pereira, L. S., Paredes, P., Melton, F., Johnson, L., Wang, T., López-Urrea, R., Allen, R. G. (2020). Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Background and validation using ground and remote sensing data. *Agricultural Water Management* 241, 106197.

Pereira, L.S., Paredes, P., Melton, F., Johnson, L., Mota, M., Wang, T., 2021. Prediction of crop coefficients from fraction of ground cover and height. Practical application to vegetable, field and fruit crops with focus on parameterization. *Agricultural Water Management* 252, 106663.

Phocaides A., (2007a). *Drip irrigation. Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*. 2nd Edition, FAO, Roma, 14.1-14.11.

Phocaides, A. (2007b.). *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*. 2nd Edition, FAO, Roma. 282pp.

Pizarro, F. (1996). *Riegos Localizados de Alta Frecuência*. Edições Mundi-Prensa. 511pp.

Puig-Bargués, J., Arbat, G., Elbana, M., Duran-Ros, M., Barragán, J., de Cartagena, F. R., & Lamm, F. R. (2010). Effect of flushing frequency on emitter clogging in microirrigation with effluents. *Agricultural Water Management* 97(6), 883–891.

R. Lamm, F., & R. Camp, C. (2007). Subsurface Drip Irrigation. In *Microirrigation for crop production* 13, 473–551.

Rallo, G., Paço, T., Paredes, P., Puig, A., Provenzano, G., Massai, R., Pereira, L.S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for trees and vine crops. *Agricultural Water Management* 250, 106645.

Rasquillo Raposo, J. (1994). *A rega localizada*. Lisboa. Edições Correio Agrícola. 166pp.

Rasquillo Raposo, J. (1996). *A Rega, Dos primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega*. Lisboa. Fundação Caloust Gulbenkian. 485pp.

Robert G. Evans, I-Pai Wu, Allen G. Smajstrala, Robert G. Evans, I-Pai Wu, Allen G. Smajstrala (2013). Microirrigation Systems. In: *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 17, 632–683. ASABE, St. Joseph, MI, EUA.

Rodrigues, P.(2011). *Influência do regime hídrico e da rega no comportamento da casta touriga nacional na Região do Dão*. Tese de Doutoramento em Engenharia dos Biosistemas, Instituto Superior de Agronomia. 274pp.

Rodrigues G.C., Paredes P., Gonçalves J.M., Alves I., Pereira L.S. (2013a). 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. *Agricultural Water Management* 126, 85–96.

Rodrigues, G.C., Martins, J.D., da Silva, F.G., Carlesso, R., Pereira, L.S. (2013b). Modelling economic impacts of deficit irrigated maize in Brazil with consideration of different rainfall regimes. *Biosystems Engineering* 116: 97-110.

Rolim J., C. Pedras (2014). *Microrrega. Impacte das Alterações Climáticas nos Sistemas de Regadio no Alentejo*. ISAPress. Lisboa, Portugal, pp. 65-78.

Romero P. J. García and P. Botía (2006). Cost–benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science* 24(3), 175-184.

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

Şahin, Ü., Anapali, Ö., Dönmez, M. F., & Şahin, F. (2005). Biological treatment of clogged emitters in a drip irrigation system. *Journal of Environmental Management* 76(4), 338–341.

Schwankl, L., Prichard, T., Hanson, B., & Wellman, I. (1999). Costs of pressurized orchard

irrigation vary with system design. *California Agriculture* 53(5), 14-20.

Solé-Torres, C., Puig-Bargués, J., Duran-Ros, M., Arbat, G., Pujol, J., & Ramírez de Cartagena, F. (2019). Effect of different sand filter underdrain designs on emitter clogging using reclaimed effluents. *Agricultural Water Management* 223, 105683.

Solomon K H., A. M. El-Gindy, SR. Ibatullin (2007). Planning and system selection. In: *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, 3, 57-75. ASABE, St. Joseph, MI, EUA.

Song, P., Li, Y., Zhou, B., Zhou, C., Zhang, Z., & Li, J. (2017). Controlling mechanism of chlorination on emitter bio-clogging for drip irrigation using reclaimed water. *Agricultural Water Management* 184, 36–45.

Vitorino, G. F. dos S. (2015). *O efeito da posição topográfica no desenvolvimento, produtividade e qualidade em diferentes castas na vinha*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia. 89pp.

Wu, D., Xu, X., Chen, Y., Shao, H., Sokolowski, E., & Mi, G. (2019). Effect of different drip fertigation methods on maize yield, nutrient and water productivity in two-soils in Northeast China. *Agricultural Water Management* 213, 200–211.

Wu, I. P., & Gitlin, H. M. (1983). Drip irrigation application efficiency and schedules. *ASAE*, 26(1), 92–99.

Yang, Q., Zhu, Y., & Wang, J. (2020). Adoption of drip fertigation system and technical efficiency of cherry tomato farmers in Southern China. *Journal of Cleaner Production* 275, 123980.

Yavuz, M. Y., Demirel, K., Erken, O., Bahar, E., & Deveciler, M. (2010). Emitter clogging and effects on drip irrigation systems performances. *African Journal Of Agricultural Research* 5(7), 532–538.

7. ANEXOS

ANEXO 1. EXEMPLO DE FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO DA REGA LOCALIZADA UTILIZADO NO PRESENTE ESTUDO

1. Dados gerais

Observador	<input type="text"/>			
Data	<input type="text"/>			
Proprietário	<input type="text"/>			
Localização	<input type="text"/>			
Cultura	<input type="text"/>	Profundidade da zona radicular	<input type="text"/>	(m)
Estado fenológico	<input type="text"/>	Data de sementeira ou plantação	<input type="text"/>	
Compasso:	<input type="text"/>	(m)	Entre linhas	<input type="text"/>
				(m)

2. Rega

Frequência:	<input type="text"/>	Volumes aplicados/Duração da rega:	<input type="text"/>
Critérios usados para estimar as necessidades de água da cultura: _____			

Método de controlo da rega (Tempo/Volume):	<input type="text"/>		

Data/Hora da última rega:

Observações:

3 - Rampas de Rega

Marca:

Tipo (PE, Tubo poroso, fita, etc):

Diâmetro nominal (mm):

Comprimento (m):

Disposições em relação as linhas de cultura (um ou dois por linha de cultura):

Aspecto geral. Observações:

4 - Gotejadores

Marca:

Tipo (autocompensante, autolimpante, etc):

Coeficiente de variação de fabrico:

Caudal por gotejador (l.h⁻¹):

Expoente de descarga (x):

Espaçamento na rampa:

Nº de gotejadores por planta:

Aspecto geral. Observações:

5 - Sectorização da Rega

Nº de sectores:

Superfície média por sector:

Escalonamento da rega:

Nº de subsectores do sector avaliado:

Observações

6 - Superfícies

Superfície de instalação:

Superfície do sector avaliado:

Superfície do maior sector:

Observações:

7 - Volumes Recolhidos e Pressões Registadas nos Locais de Teste

7.1 Volumes recolhidos nos gotejadores (ml)

Tempo de medição

min

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

7.2 Pressões registadas (bar)

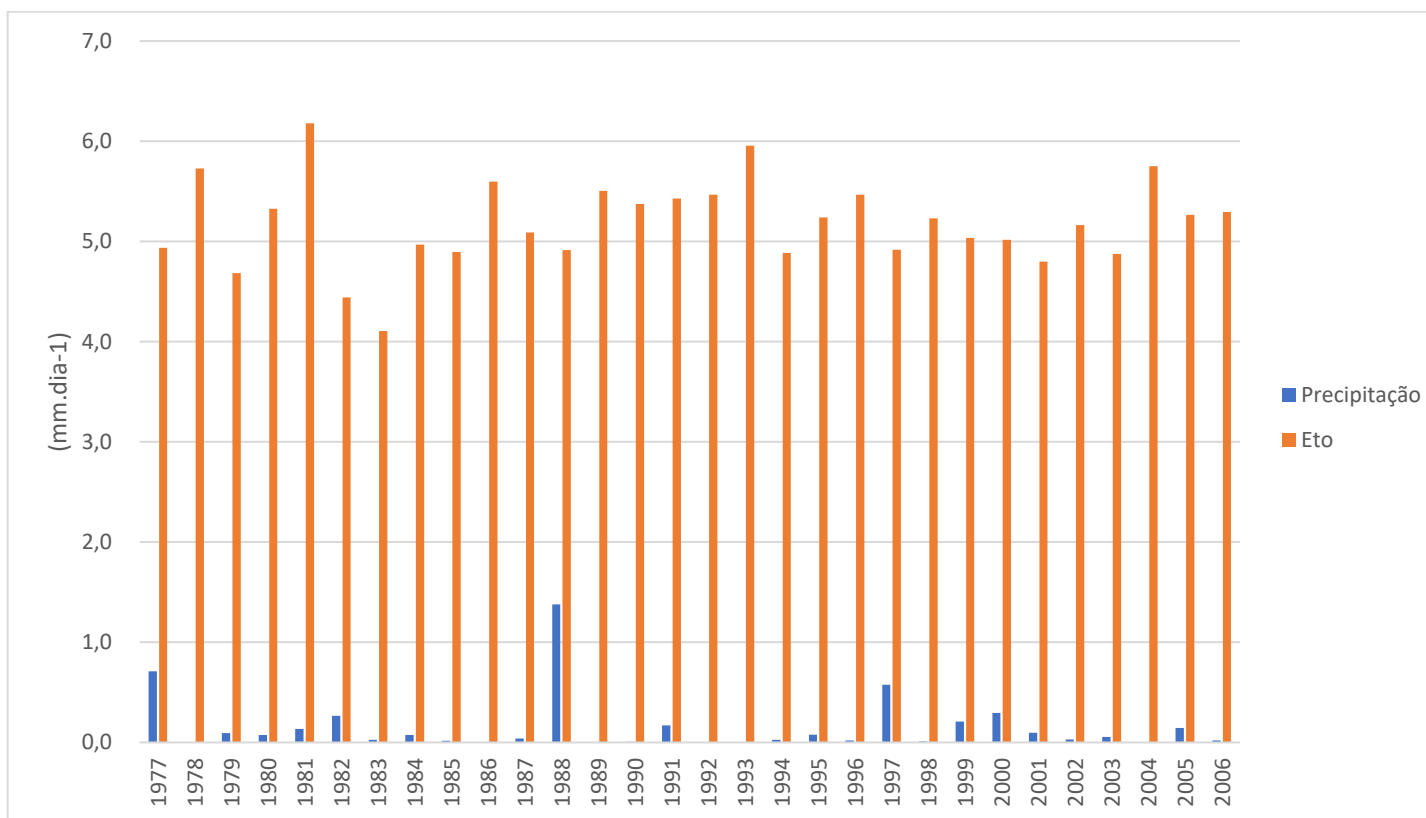
7.2.1 Nos gotejadores

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

7.2.2 Nos porta-rampas ou rampas

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

ANEXO 2: VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ET_o) MÉDIOS DIÁRIOS (JULHO) E DE PRECIPITAÇÃO, PARA O MÊS DE PONTA, DE CADA ANO DE UMA SÉRIE DE 30 ANOS (1977-2006)



ANEXO 3: VALORES DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL DA VINHA E DO OLIVAL PARA O MÊS DE PONTA (JULHO) DE CADA ANO DE UMA SÉRIE DE 30 ANOS (1977-2006) (ORDEM CRESCENTE)

ETc (mm.dia⁻¹) Vinha	ETc (mm.dia⁻¹) Olival jovem	ETc (mm.dia⁻¹) Olival em plena produção
2,14	1,14	1,76
2,31	1,24	1,90
2,44	1,30	2,01
2,50	1,34	2,06
2,54	1,36	2,09
2,54	1,36	2,09
2,55	1,36	2,10
2,56	1,37	2,11
2,56	1,37	2,11
2,57	1,37	2,12
2,59	1,38	2,13
2,61	1,40	2,15
2,62	1,40	2,16
2,65	1,42	2,18
2,69	1,44	2,21
2,72	1,46	2,24
2,73	1,46	2,25
2,74	1,47	2,26

2,76	1,47	2,27
2,77	1,48	2,28
2,80	1,50	2,30
2,83	1,51	2,33
2,85	1,52	2,34
2,85	1,52	2,34
2,87	1,53	2,36
2,91	1,56	2,40
2,98	1,60	2,45
3,00	1,60	2,46
3,10	1,66	2,55
3,22	1,72	2,65