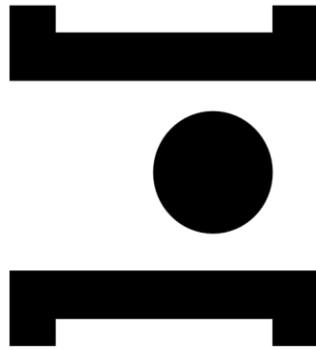


INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior Agrária de Santarém



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**REAPROVEITAMENTO DA ÁGUA DA DRENAGEM NO CULTIVO
DE TOMATE EM SUBSTRATO (fibra do coco)**

Dissertação

Mestrado em Engenharia Agronómica

Alexandre Manuel Lúcio Mota

Orientação:

Henrique Manuel Filipe Ribeiro

Ângela Oliveira Prazeres

António Maria Marques Mexia

Fevereiro, 2025

Agradecimentos

A realização desta tese representa o culminar de um percurso desafiante, que só foi possível graças ao apoio, incentivo e disponibilidade de várias pessoas e instituições.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. Henrique Ribeiro, pelo apoio, disponibilidade e orientação fundamentais para a realização desta tese. De igual forma agradeço à prof. Dr.^a Ângela Prazeres e ao prof. Dr. António Mexia, essenciais no desenvolvimento do trabalho.

À minha namorada, Margarida Santos, pela paciência, incentivo e apoio incondicional ao longo deste percurso.

Aos meus familiares, pelo suporte constante e motivação. Aos amigos e colegas, pela partilha de conhecimento e companheirismo ao longo desta caminhada.

À empresa HortoMaria, Lda, em especial ao sócio-gerente, Paulo Maria e ao técnico, Eng. Etivaldo Marcolino, pela disponibilidade e colaboração na realização do ensaio na exploração, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho.

A toda a equipa da AIHO pelo apoio e disponibilidade dos recursos necessários para a realização deste estudo.

Por fim, a todos os que, de alguma forma, contribuíram para esta dissertação, o meu sincero agradecimento.

Acrónimos/Siglas

Solução Nutritiva – SN

Condutividade elétrica – CE

Solução Drenada – SD

Cultivo sem solo – CSS

Resumo

A região Oeste destaca-se pelo cultivo de produtos hortícolas, sendo a maior área de produção de tomate fresco a nível nacional, com produção em estufas, em sistemas de hidroponia com substrato. Nestes sistemas toda a água e nutrientes que a planta necessita têm de ser fornecidos pelo produtor.

Estudou-se qual a poupança económica que se tem com a reutilização da água da drenagem, reaproveitando os nutrientes que contem e diminuindo a quantidade de adubo a aplicar por hectare. Foram recolhidas análises físico-químicas das águas de rega e de drenagem, calculando-se o volume de água e nutrientes que pode ser reaproveitado. As análises da água de drenagem tiveram ainda como objetivo detetar carências ou excessos de nutrientes, que permita ajustes na solução nutritiva base. O reaproveitamento da água drenada mostrou-se eficaz na redução do volume de água e adubo necessário, em 1 000 m³ e 2 300 € por ha e por campanha. Com este reaproveitamento evita-se ainda, o descarte inadequado da água drenada no meio ambiente. Contudo, dificuldades a nível fitossanitário e microbiológico, impendem atualmente, que esta prática ganhe expansão, sendo necessário estudar a desinfecção da água de drenagem.

Palavras-chave: Drenagem, Solução Nutritiva, Estufas, Desinfecção, Nutrientes.

Abstract***REUSE OF DRAINAGE WATER IN TOMATO CULTIVATION ON SUBSTRATE
(COCONUT FIBER)***

The Oeste region stands out for its vegetable cultivation, being the largest fresh tomato production area in the country, with greenhouse production using hydroponic systems. In these systems, all the water and nutrients required by the plants must be supplied by the producer.

A study was conducted to assess the economic savings achieved by reusing drainage water, recovering its nutrient content, and reducing the amount of fertilizer applied per hectare. Physicochemical analyses of irrigation and drainage water were collected, and the volume of water and nutrients that could be reused was calculated. Additionally, the analysis of drainage water aimed to detect nutrient deficiencies or excesses, allowing for adjustments in the base nutrient solution. The reuse of drained water proved effective in reducing both water and fertilizer requirements, by 1,000 m³ and €2,300 per hectare per growing season, respectively. This reuse also prevents the improper disposal of drained water into the environment. However, phytosanitary challenges currently prevent this practice from expanding, making it necessary to study the disinfection of drainage water.

Keywords: Drainage, Nutrient Solution, Greenhouses, Disinfection, Nutrients.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE	V
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE QUADROS	X
1. INTRODUÇÃO	1
2. CULTURA DO TOMATEIRO	3
2.1. ORIGEM E MORFOLOGIA.....	3
2.2. CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS	4
3. IMPORTÂNCIA DA CULTURA NA REGIÃO OESTE	7
4. CICLO CULTURAL	9
4.1. 1ª CAMPANHA	9
4.2. 2ª CAMPANHA	10
4.3. CAMPANHA INTERMÉDIA OU CICLO ANUAL	10
5. SISTEMA DE CULTIVO	12
5.1. INFRAESTRUTURA	12
5.2. CULTIVO SEM SOLO	13
5.3. SUBSTRATOS	15
5.4. FIBRA DE COCO.....	16
6. GESTÃO DE REGA E NUTRIENTES	18
6.1. NECESSIDADE HÍDRICAS	18
6.2. NUTRIÇÃO	20
6.3. FERTIRREGA	21
6.4. QUALIDADE DA ÁGUA DE REGA	24
7. DRENAGEM	25
7.1. SISTEMA ABERTO VERSUS SISTEMA FECHADO	25
7.2. REAPROVEITAMENTO DA SOLUÇÃO DRENADA	26

7.3.	MÉTODOS DE DESINFEÇÃO.....	28
7.4.	MONITORIZAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA E DA SOLUÇÃO DRENADA	29
7.5.	SISTEMA DE REGA E RECOLHA DA DRENAGEM.....	30
7.6.	LEGISLAÇÃO.....	31
8.	MATERIAL E MÉTODOS.....	32
8.1.	CARACTERIZAÇÃO DA EXPLORAÇÃO	32
8.2.	CULTURA.....	33
8.3.	SISTEMA DE CULTIVO	33
8.4.	SISTEMA DE FERTIRREGA.....	34
8.5.	QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE DRENAGEM	36
8.6.	QUANTIFICAÇÃO DO VOLUME DE REGA	38
8.7.	QUANTIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES	38
8.8.	ANÁLISE ECONÓMICA	39
8.9.	ANÁLISES QUÍMICAS E BIOLÓGICAS	39
8.10.	SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	41
8.11.	ANÁLISE ESTATÍSTICA	42
9.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
9.1.	ANÁLISE MICROBIOLÓGICA.....	43
9.2.	ANÁLISES QUÍMICAS	44
9.2.1.	<i>pH</i>	44
9.2.2.	<i>Condutividade Elétrica</i>	45
9.2.3.	<i>Bicarbonatos</i>	46
9.2.4.	<i>Cloretos</i>	48
9.2.5.	<i>Sódio</i>	49
9.2.6.	<i>Azoto Amoniacal</i>	50
9.2.7.	<i>Azoto Nítrico</i>	51
9.2.8.	<i>Fósforo</i>	52
9.2.9.	<i>Cálcio</i>	53
9.2.10.	<i>Potássio</i>	54
9.2.11.	<i>Magnésio</i>	55
9.2.12.	<i>Enxofre</i>	55
9.2.13.	<i>Ferro</i>	57
9.2.14.	<i>Manganês</i>	58
9.2.15.	<i>Cobre</i>	59

9.2.16.	<i>Zinco</i>	59
9.2.17.	<i>Boro</i>	59
9.2.18.	<i>Observações</i>	61
9.3.	QUANTIFICAÇÃO ECONÓMICA DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	62
9.3.1.	<i>Volume de água de rega e da drenagem</i>	62
9.3.2.	<i>Quantificação dos Nutrientes</i>	63
9.3.3.	<i>Viabilidade económica</i>	65
10.	CONCLUSÃO	67
12.	ANEXO I	72

Lista de figuras

Figura 1 - Meses com temperatura crítica (- 10°C) em diferentes latitudes. (adaptado de Matallana e Montero (1989)).....	4
Figura 2 - Balanço de água e azoto no css em sistema aberto de tomate em lâ-de-rocha (Fonte: Louro & Reis, 2020).....	27
Figura 3 - Esquema do sistema de rega e reciclagem da solução drenada (Fonte: Miranda et al, 2004).....	30
Figura 4 - Imagem aérea da exploração	32
Figura 5 - Saco de cultivo em cima da tela de drenagem.....	34
Figura 6 - Demonstração da densidade de plantação.....	34
Figura 7 - Máquina de fertirrega.....	35
Figura 8 - Sistema de injeção das soluções nutritivas na água de rega	35
Figura 9 - Tanques de fertirrega, com capacidade de 5 mil litros cada	36
Figura 10 - Sistema de recolha da drenagem	37
Figura 11 - Evolução do pH da água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	44
Figura 12 - Evolução dos cloretos na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	48
Figura 13 - Evolução do sódio na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	49
Figura 14 - Evolução do azoto amoniacal na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	50
Figura 15 - Evolução do azoto nitrico na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	51
Figura 16 - Evolução do fósforo na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).	52

- Figura 17 - Evolução do cálcio na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$). 53
- Figura 18 - Evolução do ferro na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$). 57
- Figura 19 - Evolução do manganês na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$). 58

Lista de Quadros

Quadro 1 - Características físico-químicas da fibra de coco (Fonte: Miranda et al., 2004)	17
Quadro 2 - Diferentes soluções nutritivas padrão (macronutrientes - mmol/L)(micronutrientes - mg/L) (Fonte: Miranda et al, 2004)	21
Quadro 3 - Quantificação dos adubos por tanque de fertirrega	36
Quadro 4 - Comparação de uma solução padrão com a solução nutritiva utilizada	41
Quadro 5 - Resultados da análise microbiológica da água após desinfecção	43
Quadro 6 - Valores médios de condutividade elétrica (CE em mS/cm) e bicarbonatos (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.	47
Quadro 7 - Valores médios do potássio, magnésio e enxofre (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.	56
Quadro 8 - Valores médios do cobre, zinco e boro (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.	60
Quadro 9 - Volumes de solução nutritiva e solução drenada (m ³) e drenagem (%)	62
Quadro 10 - Percentagem de macronutrientes drenados	63
Quadro 11 - Percentagem de micronutrientes drenados	63
Quadro 12 - Quantidade de adubos injetados na solução nutritiva e custo total (€)	65
Quadro 13 - Quantidade de adubos presente na solução drenada e custo total (€)	66
Quadro 14 - Quantificação de macronutrientes na solução nutritiva	72
Quadro 15 - Quantificação de micronutrientes na solução nutritiva	72
Quadro 16 - Quantificação de macronutrientes na solução drenada	72
Quadro 17 - Quantificação de micronutrientes na solução drenada	72

1. Introdução

Na região Oeste de Portugal a agricultura, em especial o setor hortícola, desempenha um papel importante para toda a economia. Esta região é caracterizada, pelo seu microclima, onde a influência marítima a oeste, e o sistema Montejunto-Estrela a este, criam uma zona de temperaturas amenas, em especial no verão (IPMA, 2024). Estas condições permitem produzir tomate em estufa durante quase todo o ano com qualidade, algo que não é possível em outras regiões, nomeadamente, na Holanda, em Marrocos e em Espanha (AIHO, 2024).

Devido a estes factos, a cultura do tomate ganhou destaque na região, principalmente, a sua produção em estufa. Se inicialmente, essas estruturas eram arcaicas e pouco sofisticadas, atualmente, são consideradas das mais tecnológicas a nível mundial. O uso de tecnologia, como sistemas de fertirrega, permite atingir grandes produtividades (AIHO, 2024).

Devido ao atual cenário de alterações climáticas, aliado a um aumento populacional estimado de 2,2 mil milhões de pessoas até 2050, enfrentamos grandes desafios a nível de segurança alimentar: a necessidade de garantir alimentos de qualidade e, sobretudo, garantir a sua disponibilidade à população mundial (FAO, 2017).

Num contexto de escassez de água, é essencial que esta não seja desperdiçada. Assim, a gestão da água terá de ser repensada, de forma a atingir um máximo de reaproveitamento hídrico, com estratégias de maximização de eficiência e reutilização.

Na produção agrícola outro fator importante são os adubos, que para além dos elevados custos acarretam questões ambientais e de sustentabilidade, pelo que é necessário usá-los da forma mais eficiente possível. Na estufa, a eficiência dos fatores de produção é maximizada. No entanto, a reintrodução da água de drenagem na solução nutritiva é um aspeto que deve ser aprimorado. Este reaproveitamento permite reduzir o consumo de água e reaproveitar os nutrientes que nela circulam, no entanto, é necessária tecnologia e investigação para aperfeiçoar este método (Saraiva *et al.*, 2022).

Este trabalho teve como uma das finalidades avaliar a possibilidade de reutilizar a água drenada do cultivo de tomate em substrato de fibra de coco, na própria cultura, uma vez que esta drenagem pode representar cerca de 30% do volume total de solução nutritiva

aplicada. A reintrodução da drenagem no sistema teve, dentro de outras finalidades, o objetivo de reduzir o volume de água e nutrientes aplicados à cultura, avaliando os impactos na cultura e os benefícios económicos. Com análises regulares pretendeu-se perceber a existência de carências ou excessos nutricionais, para eventuais ajustes na solução nutritiva. Por fim, ao se dar um destino economicamente mais rentável à drenagem evita-se o seu descarte na natureza, e conseqüente contaminação de linhas de água.

Para tal, foi acompanhada uma cultura de tomate de estufa em fibra de coco onde se: quantificaram os volumes de solução nutritiva gasta e de drenagem obtida; determinou a concentração de nutrientes na água de rega, na solução nutritiva e na água de drenagem; calculou a quantidade de nutrientes presentes na solução nutritiva e na drenagem; e estimou o ganho económico correspondente ao reaproveitamento total dos nutrientes presentes na drenagem.

Desta forma, este estudo, sobre reaproveitamento das águas de drenagem do cultivo sem solo de tomate, pretende evidenciar a possibilidade de se reduzirem as necessidades de água para rega nestes cultivos, assim como as necessidades de fertilização. A reintrodução da drenagem permite aproveitar os nutrientes presentes na água drenada e pode evitar o descarte inadequado dessa água, evitando o seu descarte e conseqüentemente a contaminação ambiental derivada da elevada concentração de nutrientes e microrganismos.

2. Cultura do Tomateiro

2.1. Origem e Morfologia

O tomateiro é uma planta da família das solanáceas, originária da zona andina da América do Sul (Costa & Heuvelink, 2005; Jesus *et al.*, 2020), chegou à Europa em meados do século XVI, onde foi facilmente aceite no Mediterrâneo e temida como venenosa no Norte da Europa (Almeida, 2006). O nome científico do tomate foi alvo de alterações e de várias controvérsias (Almeida, 2006), atualmente segundo os textos de horticultura designa-se, *Solanum Lycopersicum*.

É uma planta herbácea perene, cujo ciclo vegetativo pode durar alguns anos se as condições climáticas e nutricionais forem satisfeitas, podendo dar frutos durante vários anos consecutivos (Dam *et al.*, 2006). Contudo, para produção o mais comum é ser cultivada em ciclo anual.

Em 2020 estavam registadas, no Catálogo Nacional de Variedades de Espécies Agrícolas e Hortícolas, mais de 200 variedades de tomate em Portugal (DGAV, 2023), existindo variedades de crescimento indeterminado (plantas que florescem durante toda a vida), destinada à comercialização em fresco e variedades de crescimento determinado (plantas com período de floração limitado seguido do período de maturação dos frutos), destinadas à indústria agroalimentar.

É uma planta de dias-neutros, o que permite que a mesma seja cultivada durante todo o ano, desde que satisfeitas as condições de crescimento. Segundo Dam *et al.* (2006) a primeira colheita pode-se realizar 45 a 75 dias após a transplantação.

Tem um sistema radicular constituído por uma raiz apumada, que pode alcançar 40 a 60 centímetros de profundidade e por raízes secundárias e adventícias (Saraiva *et al.*, 2022). O caule é ereto para variedades de crescimento indeterminado e prostrado para variedades de crescimento determinado. As folhas são compostas, com inserção alternas, com 7 a 9 folíolos pubescentes. O odor característico do tomateiro deve-se aos tricomas glandulares presentes nas folhas, caules e pedúnculos. As flores são completas, hermafroditas, actinómórficas com coroa amarela. Cada inflorescência possui 5 a 12 flores, dependendo da cultivar, estando a polonização muito dependente de insetos ou do vento. O fruto é uma baga plurilocular, com peso médio variável entre

5 a 500 gramas, distinguindo-se principalmente em cinco tipos: Redondos, Rama ou Cacho, Chucha, *Cocktail*, Cereja e Coração de Boi. (Almeida, 2006)

2.2. Condições Ambientais e Características do Substrato

O tomateiro é uma planta com boa adaptação a diferentes climas e situações ambientais, com preferência por climas amenos, com temperaturas diurnas variando de 22°C a 26°C e temperaturas noturnas variando de 13°C a 16°C. Temperaturas acima de 35°C prejudicam a frutificação, com queda acentuada de flores e frutos (Dam *et al.*, 2006). As temperaturas mínimas têm uma grande influência no desenvolvimento da cultura, sendo a temperatura crítica de 10°C, abaixo da qual as plantas cessam o seu crescimento. A temperatura é um dos parâmetros de referência quando se procura locais de produção no Inverno, outro indicador associado a regiões de inverno ameno é a “região de citrinos” corresponde a regiões com temperaturas mínimas absolutas entre -2,5 e 7°C (Saraiva *et al.*, 2022), ou seja, quando existe risco de geadas.

Na figura 1, podemos observar que na região mediterrânica, onde Portugal se insere, os meses com temperaturas críticas (abaixo de 10°C) correspondem aos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e primeira semana de março.

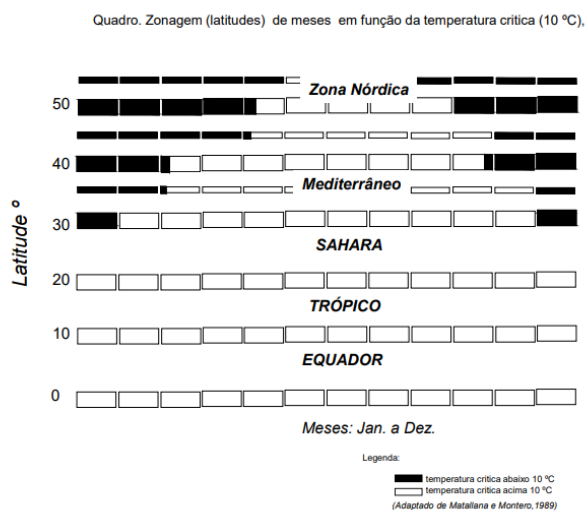


Figura 1 - Meses com temperatura crítica (- 10°C) em diferentes latitudes. (adaptado de Matallana e Montero (1989))

Como já observado, as maiores limitações ambientais à produção de tomate em estufa na região Oeste são as baixas temperaturas e a elevada humidade relativa no Inverno, e as altas temperaturas no Verão (Monteiro, 1994).

A luminosidade é outro dos parâmetros a ter em consideração, segundo Saraiva *et al.*, (2022). No caso das hortícolas de fruto, a luz é decisiva em termos de diferenciação e desenvolvimento floral. Em situações de baixa luminosidade ocorre estiolamento das plantas com consequente perda de produtividade.

O tomate é um fruto onde a cor é uma das suas características principais, estando a incidência de luz no fruto relacionado com a velocidade de maturação e intensidade da sua coloração. Uma vez que a incidência luminosa aumenta a produção de metabólitos secundários, como o licopeno, responsável pela coloração avermelhada.

Apesar do tomateiro ser uma cultura muito exigente em luz, o fotoperíodo e a qualidade da luz têm pouca influência no desenvolvimento da cultura (Almeida, 2006).

Outro dos parâmetros ambientais mais importantes é a humidade relativa do ar que, quando muito baixa aumenta a taxa de evapotranspiração das plantas, podendo levar a stress fisiológicos e diminuição dos teores de pólen na flor. Pelo contrário, se a humidade for elevada, favorece a ocorrência de doenças, principalmente fúngicas. Segundo Almeida, nas estufas a humidade relativa ideal situa-se na ordem do 70% a 80%.

Para além da temperatura, luminosidade e humidade relativa há que ter em conta fatores como o vento, que no caso das estufas esta amenizado. Contudo, é essencial ter em consideração o sentido das aberturas zenitais das estufas, pois é importante favorecer o arejamento adequado e a renovação do ar dentro das mesmas, nesse ponto o vento pode tornar-se um fator limitante.

Relativamente ao solo/substrato, dois parâmetros de extrema importância são a salinidade e o pH. No caso do cultivo em substrato, estes parâmetros são alterados pelo volume de regas e intervalo entre si, podendo rapidamente sofrer oscilações em caso de falha no sistema.

Segundo Miranda *et al.* (2004), o pH da solução nutritiva e da água de drenagem não deve ir além de 7, nem abaixo de 5, o que garante que o pH do substrato se mantém próximo de 6,0 a 6,5, valores considerados ideais para tomateiros (Almeida, 2006)

O pH assume extrema importância para diversos fatores, sendo o principal a variação da disponibilidade de nutrientes conforme variação do pH, mas também pode favorecer a luta contra agentes fito-patogénicos. Segundo Agrios (1997), em alguns casos, as

debilidades do hospedeiro provocadas por alterações nutritivas devido à acidez do substrato podem afetar a incidência e intensidade de doenças.

A salinidade, que expressa a concentração total de sais dissolvidos na água, é medida pela condutividade elétrica, (Miranda *et al.*, 2004), sendo importante a leitura deste parâmetro na solução nutritiva aplicada à cultura, mas também na água de drenagem e no substrato. É a diferença de valores da condutividade elétrica (CE) entre a solução nutritiva e a água de drenagem que influenciam a necessidade de se aumentar o número de regas, em casos onde essa diferença é elevada. Por outro lado, pode ser necessário aumentar a concentração da solução nutritiva quando a condutividade elétrica da água de drenagem é baixa. É aconselhável que a CE da água de drenagem não exceda em uma unidade a CE da solução nutritiva à entrada (Miranda *et al.*, 2004). É importante considerar que, geralmente, a condutividade do substrato é em média 0,5 a 1,0 mS/cm mais alta do que a condutividade da solução nutritiva (Gavilan, 2000; Miranda *et al.*, 2004), uma vez que este tem a capacidade de retenção de sais.

Alvarenga *et al.* (2004) e Almeida (2006) recomendam para a cultura do tomate, o valor máximo de condutividade elétrica seja de 2,5 mS/cm. No entanto, segundo Miranda *et al.* (2004) pode chegar-se a um valor máximo de 3,5 mS/cm sem perdas de produtividade.

Quanto aos teores de CO₂ dentro das estufas, em Portugal, não se demonstram problemáticos visto que estas têm um bom arejamento e renovação de ar, não existindo uma redução significativa do CO₂ a ponto de prejudicar a fotossíntese das plantas e o seu desenvolvimento (Baptista, 2018).

Os parâmetros mencionados anteriormente sofrem oscilações constantes, pelo que deve existir uma monitorização diária e uma aposta em tecnologia que permita aferir os diferentes parâmetros de forma constante e precisa.

Em cultura protegida o principal objetivo é proporcionar as condições ideais de desenvolvimento às plantas, o que com as tecnologias existentes já é possível. No entanto, é necessário não esquecer que requer investimentos elevados, que devem ser ponderados e calculados tendo em conta a sua rentabilidade. Há poucos anos, uma produção de 100 toneladas por hectare de tomate em estufa era considerada um bom desempenho. Hoje, para produtores em regiões de clima mediterrâneo, uma colheita de 300 toneladas por hectare não é incomum (Wilfried *et al.*, 2013).

3. Importância da Cultura na região Oeste

A região Oeste apresenta as características ideais para a produção agrícola de ar livre e de estufa, sendo a maior região de produção hortícola de consumo em fresco do país. Segundo o Instituto Nacional de Estatísticas (INE, I.P., 2024), mais de metade dos produtos hortícolas a nível nacional são produzidos nesta região, com destaque para o tomate fresco, que em 2022 representou um valor de 79 milhões de euros em exportações (Portugal Fresh, 2022) e uma produção total nacional de cerca de 130 mil toneladas. O principal fator que contribui para essa produção é o seu clima temperado, com um Verão seco e suave, e inverno ameno e chuvoso (IPMA, 2024).

Na região as primeiras estufas apareceram há mais de 30 anos, construídas em madeira de eucalipto, eram de pequenas explorações familiares que produziam principalmente alface, feijão, tomate e courgette para os mercados rurais da região de Lisboa.

Atualmente o concelho de Torres Vedras tem uma área de estufas com aproximadamente 650 hectares (AIHO, 2025) e com perspectivas de forte crescimento. Nesta região, encontram-se das estufas mais avançadas tecnologicamente de entre os países do sul da Europa, com estruturas metálicas de pé direito alto, sistemas de controlo automático de fertirrega e de ventilação, entre outras tecnologias que os produtores têm vindo a testar e apostar.

No entanto, é importante lembrar que esta alteração a nível tecnológico foi motivada pela destruição da quase totalidade das estufas da região, pelo temporal de 23 de dezembro de 2009. “As estufas foram reconstruídas com novas tecnologias, com mais áreas de produção e capacidade para o mercado de exportação” afirmou António Gomes em 2018. Para esta reconstrução, foi essencial não só a resiliência dos produtores, mas também o apoio de organizações setoriais que junto do ministério da agricultura conseguiram que o mecanismo de apoio “Recuperação do Potencial Produtivo” fosse ativado, mostrando deste modo a importância de um setor organizado (Comunicação pessoal Sérgio Ferreira, AIHO, 2024).

Outro grande marco na produção hortícola protegida foi o estabelecimento de parcerias com empresas espanholas, que permite garantir o escoamento da produção com preços mais elevados, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro, momento em que Espanha não consegue ter produção suficiente que garanta o abastecimento dos

seus principais mercados. Assim, torna-se importante definir os ciclos de produção da cultura do tomate na região, posicionando-a no mercado da Península Ibérica enquadrado com as épocas de produção de Espanha, Marrocos e Países Baixos (Santos, 2021). Os agricultores apostam em produzir no contraciclo com Almeria, concentrando a produção na 2^a campanha, entre julho e novembro.

Com a área de estufas em constante expansão, as próprias empresas acompanham esse crescimento, colocando a horticultura cada vez mais como o motor da economia do concelho de Torres Vedras, e da região Oeste. O setor, segundo a presidente da câmara municipal, Eng.^a Laura Rodrigues, movimenta mais de 1 milhão de euros e cria dezenas de milhares de postos de trabalho, direta e indiretamente (Laura Rodrigues, citação pessoal, 2024).

4. Ciclo Cultural

Atualmente, na região Oeste podemos dividir a cultura de tomate protegido em três ciclos de cultivo de tomate em estufa, que se distinguem pelas datas de plantação, o tempo total do ciclo cultural, pela produtividade e tipo de planta utilizada. Vários motivos podem levar os produtores a optar pelos diferentes ciclos produtivos, existindo explorações onde se realizam as três campanhas, de modo a suprir as necessidades de mercado e diminuir riscos. Os principais motivos que podem levar à escolha da campanha de produção são: necessidade de mão de obra, a produção de outra cultura na estufa e o próprio tipo de estufa (altura do pé direito), assim como cultivo em solo ou substrato.

4.1. 1ª Campanha

Com plantações logo nas primeiras semanas do ano, a estenderem-se até fins de março, é considerada um ciclo curto. Os produtores levam a cultura até ao 5º/6º cacho, sendo assim, uma cultura com menor produtividade. O preço pago ao produtor por quilo de tomate nesta campanha também ele é menor.

Esta campanha é caracterizada por um desenvolvimento vegetativo inicial lento devido às baixas temperaturas de Inverno, com o início de colheita a acontecer cerca de 90 a 120 dias após plantação. Devido às condições climáticas de baixa luminosidade e elevada humidade, a cultura pode sofrer com falta de luz e tempo de folha molhada elevado, provocando estiolamento e favorecendo o aparecimento de doenças fúngicas. Por estes motivos é importante reduzir a densidade de plantação, os produtores optam por plantas não enxertadas, devido ao custo mais baixo, mas também para que se desenvolva apenas uma haste e permita maior arejamento entre plantas (Hélder Ramos, citação pessoal, 2023).

As variedades mais utilizadas nesta época de plantação são variedades de tipologia designada de “tomate redondo/salada” e “tomate chucha”, que se colhe fruto a fruto consoante a maturação vai acontecendo. Isto permite iniciar a colheita antecipadamente, com frutos em coloração verde com ligeiras tonalidades avermelhadas. As variedades de tipologia designada de “tomate cacho/ rama” têm uma

menor expressão nesta época do ano (Saraiva *et al.*, 2022). O arranque das plantas para dar lugar à 2ª Campanha acontece entre junho e julho.

4.2. 2ª Campanha

Nesta campanha, as plantações vão de fins de maio até início de agosto, tem um arranque cultural mais rápido, devido às boas condições climáticas, temperatura e luminosidade, entrando em colheitas após 60/90 dias de plantação. A colheita estende-se até fins de novembro. Como a entrada em produção é mais rápida e o desenvolvimento da cultura favorável, é possível levar as plantas até aos 12/13 cachos. Nesta campanha, os produtores optam por plantas mais robustas e de maior vigor, plantas enxertadas, de modo a conduzir a cultura em duas ou três hastes por planta. Não só a produtividade é maior, como o preço mais favorável (Hélder Ramos, citação pessoal, 2023).

Tecnicamente é uma cultura menos suscetível a fungos, mas mais propícia a ataque de insetos, nomeadamente a *Tuta absoluta* e tripses. Há que ter em atenção que as temperaturas nos meses de verão facilmente ultrapassam os 30/35°C, pelo que é recomendado a pintura da cobertura das estufas ou colocação de telas de ensombramento de modo a diminuir a temperatura no seu interior, a ventilação forçada também é uma técnica recomendada.

As variedades de tipologia “tomate cacho/rama” são as mais utilizadas durante este período, por serem as mais procuradas para a comercialização no mercado de exportação, em setembro/outubro (Saraiva *et al.*, 2022).

4.3. Campanha Intermédia ou Ciclo Anual

Tal como na 1ª campanha as plantações ocorrem nos meses de janeiro a março, o que diferencia esta campanha é ser de ciclo anual, de 10 a 12 meses, permitindo colheitas de mais de 20 cachos sem interrupções. Existe ainda quem realize outra cultura na estufa, como por exemplo a courgette, e opte por plantar nos meses de abril e maio.

Uma única cultura anual permite evitar o custo de uma segunda plantação, assim como elimina o período sem colheitas, que seria o tempo necessário desde a instalação da cultura até à sua entrada em produção (Miranda *et al.*, 2004).

No entanto esse período sem colheitas pode não se fazer sentir, se na exploração existirem vários módulos de estufas e a plantação da 1ª campanha tenha sido feita de forma escalonada entre estufas, de modo a permitir que entre o fim da 1ª campanha e início de colheitas da 2ª campanha, o produtor continue a colher nas diversas estufas (Hélder Ramos, citação pessoal, 2023).

A opção de um único cultivo anual exige que a cultura após ter atingido o arame superior seja rebaixada progressivamente. O rebaixamento é uma operação morosa e exigente em mão de obra, de todas as operações culturais a que mais necessita de ser feita no momento ideal. Se o rebaixamento não for realizado atempadamente os ápices das plantas começam a tombar, podendo mesmo partir-se, representando uma perda irreversível (Miranda *et al.*, 2004).

5. Sistema de Cultivo

5.1. Infraestrutura

Na região Oeste, as técnicas de cultivo de tomate fresco sofreram grandes mudanças ao longo dos anos. Se no início o cultivo de tomate se realizava apenas ao ar livre e com ciclo cultural de primavera-verão, aos poucos apareceram as primeiras estruturas que serviam de abrigo à cultura, os tradicionais parrais. Estes permitiam antecipar as sementeiras ou plantações, levando a colheitas escalonadas e desfasadas em duas ou três semanas do ar livre (comunicação pessoal José Firmino, Olhorta, Lda, 2024). Aos poucos evoluíram para estufas de módulos simples ou duplos, numa construção em madeira de eucalipto. Segundo dados do INE (2024), em 2002 existiam 385 ha de abrigos de diversas estruturas, aos poucos foram introduzidas as primeiras estufas com estruturas metálicas, de pé direito mais elevado e com maior resistência. Estas estruturas levaram tempo até se popularizarem devido ao seu alto custo de investimento (Ferreira, 2017).

O dia 23 de dezembro de 2009 foi um marco na história da horticultura protegida da região, o temporal que se fez sentir naquele dia destruiu a quase totalidade da área de abrigos e estufas existentes. O que por um lado destruiu as estruturas de produção, veio renovar e profissionalizar o setor. As novas estufas foram construídas com estruturas metálicas, multimodelares em arco, com todas as tecnologias existentes na altura e preparadas para o sistema de cultivo sem solo em substrato.

As estufas atuais são feitas totalmente em ferro galvanizado, dispendo de ventilação zenital, revestidas principalmente em plástico transparente, com pé direito superior a 4 metros, podendo ainda contar com ventilação forçada e pantalhas de cobertura, sendo os sistemas de arejamento e fertirrega controlados de forma autónoma (Agridrega, 2024). São estruturas com um alto investimento inicial que requerem uma grande profissionalização e acompanhamento para que sejam rentabilizadas no menor tempo possível.

A nível da produção existe uma aposta em sistemas de cultivo sem solo, principalmente em substrato de fibra de coco.

5.2. Cultivo sem solo

À medida que a intensificação cultural vai aumentando e o solo começa a colocar limitações à produtividade da cultura, o sistema cultural avança para o cultivo sem solo (Almeida, 2006).

Habitualmente, utiliza-se o conceito de hidroponia para designar cultivo sem solo, no entanto, ainda que não seja errado pela sua praticabilidade, hidroponia é apenas uma derivação dos sistemas de cultivo sem solo, que assume o desenvolvimento da cultura em solução nutritiva (Jesus *et al.*, 2020)

Existem autores que consideram os métodos hidropónicos aqueles que utilizam algum tipo de meio de cultivo designado “cultivo sem solo”, sendo o cultivo unicamente com água, a verdadeira hidroponia (Miranda *et al.*, 2004).

Desta forma é possível dividir os sistemas de cultivo sem solo em três tipos:

- hidropónico (as raízes estão suspensas na água);
- aeropónico (pulverização com uma solução de nutrientes e água, diretamente na raiz das plantas);
- substrato (as plantas têm as raízes em substrato inorgânico ou orgânico).

Todos os métodos de cultivo apresentados têm em comum a não utilização do solo e uso de uma solução nutritiva (Almeida & Reis, 2017; GROHO, 2024).

O sistema de cultivo sem solo em substrato utiliza diversos materiais como substratos, que dependem de fatores como disponibilidade, reciclagem, tipo de cultura, qualidade da água, entre outros. Os principais substratos são: lã de rocha, fibra de coco e perlite (Miranda *et al.*, 2004).

Devido às dificuldades com a reciclagem de algumas matérias, levando a problemas ambientais se indevidamente eliminados, tem existido uma maior adoção de substratos que utilizam resíduos orgânicos, compostados ou não, menos agressivos para o ambiente, como é o caso da fibra de coco (Gavilán, 2000).

Segundo os especialistas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2024), este método é particularmente vantajoso em regiões com solo

de baixa qualidade ou terras aráveis limitadas. Ao eliminar a necessidade de solo, este cultivo oferece uma solução de economia de água e de outros fatores de produção, quando combinada com tecnologias de culturas protegidas permite ainda, a produção durante todo o ano, mesmo nos climas mais desafiadores. O fornecimento direto de nutrientes e condições de cultivo otimizadas, geralmente, resultam em crescimentos mais rápidos e maiores rendimentos.

Segundo Miranda *et al.*, (2004), estes sistemas trazem vantagens comparativamente com o cultivo em solo, desde logo, a possibilidade de se cultivar independentemente do tipo de solo e da sua fertilidade, eliminando a necessidade de rotação de culturas. No entanto, no caso de se pretender reutilizar o mesmo substrato a rotação de cultura apresenta vantagens. A produção sem solo apresenta maior uniformidade e produtividade, tornando mais fácil o ajuste nutricional e hídrico, permitindo ainda a reciclagem da água em sistemas fechados, eliminando contaminações para o meio ambiente.

No entanto também apresentam inconvenientes:

- eleva os custos de produção, principalmente os investimentos iniciais com a infraestrutura, sistemas de rega e substratos;
- exige uma qualidade de água de rega superior, e é um sistema mais sensível a falhas e alterações, pelo que requer um acompanhamento e conhecimento técnico muito rigoroso, com verificações constantes de diversos parâmetros.

Os sistemas de cultivo sem solo têm tido uma tendência de crescimento significativo, à medida que o conhecimento técnico avança e as culturas se vão adaptando, possibilita um aumento na rentabilidade da exploração.

Com o potencial produtivo oferecido por este tipo de sistemas, uma região ou país pode facilmente tornar-se autossuficiente em produtos hortícolas frescos, ou até mesmo exportador, como é o caso de Portugal em determinados períodos do ano (Miranda *et al.*, 2004).

5.3. Substratos

O substrato funciona não só como suporte das plantas, como também é um reservatório para a solução nutritiva a partir da qual a planta se alimenta. Tendo em consideração que o substrato se encontra limitado em volume, o desenvolvimento das raízes está condicionado a esse espaço, e por consequência a planta está limitada à capacidade de retenção de água, arejamento e disponibilidade de nutrientes. Isto é um fator limitador se comparado com as plantas em solo, demonstrando não só a necessidade de escolher o substrato de acordo com a cultura e as próprias condições culturais, mas também o aporte dos fatores de produção serem constantes e equilibrados (Miranda *et al.*, 2004; Ribeiro *et al.*, 2001).

De acordo com Ribeiro *et al.*, (2001), a escolha de um substrato exige uma avaliação das suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que são responsáveis por determinar respetivamente as seguintes características: retenção de água e arejamento, nutrição e a estabilidade dos materiais.

Um substrato deve garantir um equilíbrio entre as suas propriedades físicas, químicas e biológicas, com as seguintes características asseguradas:

- Elevada porosidade, que permita uma elevada capacidade de retenção de água e ao mesmo tempo rápida drenagem e bom arejamento;
- Elevada capacidade de troca catiónica, que permite ao substrato resistir melhor a mudanças de pH, CE e nutricionais;
- Boa estabilidade biológica, no caso dos materiais orgânicos, permite manter as características constantes ao longo do tempo.

A escolha do substrato é um dos pontos mais importantes para o bom desenvolvimento das plantas, terá de se adaptar à cultura e impacta diretamente na gestão de rega e nutrição. No principal sistema de cultivo sem solo na região Oeste de Portugal, são utilizados substratos orgânicos como meio de suporte das plantas, nomeadamente fibra de coco, ou inorgânicos, a lã de rocha.

Dados de Almeida (2006) indicam que o substrato de lã de rocha era o mais utilizado em 2006, existindo outros substratos como a perlite e misturas de turfa, fibra de coco, casca de pinheiro moída ou compostos. Atualmente, segundo dados da AIHO (2024),

os substratos de lã de rocha foram substituídos, na sua quase totalidade, por fibra de coco, devido a menor margem para falhas da lã de rocha em comparação com a fibra de coco, onde um problema no sistema de rega poderia levar à perda da cultura.

A fibra de coco, tem maior percentagem de microporosidade, por isso, apresenta maior capacidade de retenção e armazenamento de água, no entanto cede a água com mais dificuldade do que a lã de rocha. Tem um tempo de reação mais lento e maior poder tampão, deste modo, tolera um menor rigor na condução da rega e da fertilização. Contudo, quando bem utilizada pode atingir produtividades idênticas ou superiores às da lã de rocha. (Miranda *et al.*, 2004)

5.4. Fibra de coco

A fibra de coco é um substrato obtido do mesocarpo - vulgo casca - do fruto do coqueiro (*Cocos nucifera L.*) após processamento – depois de se separar as fibras compridas usadas na indústria têxtil, fica um resíduo constituído por fibras curtas e partículas finas, designado pó de coco (Miranda *et al.*, 2024). A partir da mistura destes resíduos constituem-se os substratos.

Devido ao facto de ser um substrato proveniente dos resíduos da casca do coco, as suas propriedades físicas e químicas variam conforme a qualidade e características do coco. No entanto, algumas características são passíveis de ser alteradas, seja por lavagem ou pela realização de misturas com diferente percentagem de fibras curtas e longas.

Segundo Miranda *et al.*, (2004), as propriedades físicas da fibra de coco são semelhantes às das turfas – tamanho das partículas, inércia térmica e curva de retenção hídrica.

Relativamente as propriedades químicas a fibra de coco (quadro 1) destaca-se pela elevada capacidade de troca catiónica, que confere um elevado poder tampão e permite resistir às variações bruscas na concentração de nutrientes e valores de pH, assim como reduz os riscos de salinidade (Ribeiro *et al.*, 2021).

Quanto às propriedades biológicas, por ter um elevado conteúdo em lenhina, tem elevada resistência à degradação microbiana, o que lhe confere uma grande durabilidade – anualmente perde menos de 5% do seu volume (Miranda *et al.*, 2004).

Quadro 1 - Características físico-químicas da fibra de coco (Fonte: Miranda et al., 2004)

CARACTERÍSTICA	VALOR	INTERPRETAÇÃO
Densidade aparente (g/cm ³)	0,06	Baixa
Porosidade total (% volume)	95	Alta
Capacidade de arejamento (%volume)	35-50	Alta
Água facilmente disponível (%volume)	15-25	Média Baixa
Água de reserva (% volume)	5-15	Média Alta
Capacidade de troca catiónica (meq/100g)	50-90	Média Alta
pH	5,0-6,3	Ligeiramente ácido
CE (dS/m)	0,3-3,5	Não salino-Salino
Relação C/N(%)	100	Alta

Outro ponto positivo da utilização da fibra de coco é a facilidade da sua reciclagem, uma vez que é biodegradável, pode ser incorporada no solo melhorando as suas características estruturais. Já a sua durabilidade e reutilização têm vindo a ser alteradas, segundo alguns autores não existe problema em ser usada por mais de 5 anos, no entanto os produtores têm sentido dificuldades nessa reutilização devido ao acumular de problemas fitossanitários nos substratos, sendo comum a substituição anual.

6. Gestão de Rega e Nutrientes

6.1. Necessidade Hídricas

O fornecimento de água às plantas é essencial para o seu desenvolvimento, tornando-se ainda mais importante nos sistemas de cultura protegida sem solo. Neste tipo de produção toda a água que a planta necessita tem de ser fornecida pelo sistema de rega, sendo importante ter em consideração alguns parâmetros, como a quantidade e qualidade da água e a frequência de rega.

Segundo Miranda *et al.* (2004), além de suprir as necessidades hídricas da cultura, a rega é o meio de fornecimento de nutrientes, tem o objetivo de diminuir a temperatura do substrato e de favorecer a disponibilidade em oxigénio.

O primeiro ponto para uma boa gestão da rega é compreender as necessidades hídricas, que dependem diretamente do tipo de cultura e variedade, do sistema de cultivo e das condições climáticas. Em termos comparativos, segundo Almeida (2006) a cultura do tomate em solo consome entre 4 000 - 6 000 m³/ha, em clima mediterrânico. Conforme descrito por Gavilan (2000) as necessidades hídricas da cultura em sistema sem solo, resumem-se ao consumo da planta, evapotranspiração e drenagem.

A maioria das culturas hortícolas apresenta uma taxa de respiração na ordem dos 90 a 98% do volume total de água absorvida, pelo que as condições ambientais dentro da estufa têm uma grande influência no consumo de água das plantas.

Outro ponto de grande importância quando se pensa nas quantidades de água a aplicar à cultura é a quantidade de água drenada, sendo este um dos parâmetros que indica quando e quanto se deve regar. A drenagem é muito importante, pois é através do excesso de solução nutritiva aplicado que se lava o substrato, eliminando os sais em excesso, controlando assim a condutividade elétrica, ou seja, a salinidade do substrato. Se a drenagem diminui, aumenta a acumulação de sais no substrato, a condutividade sobe e a planta tem de despende de mais energia para absorver água (Miranda *et al.*, 2004). De acordo com Almeida (2006) a percentagem de drenagem ideal no verão é de 30% e no inverno de 50%. Já Miranda *et al.*, (2004) indica valores na ordem dos 30%, chamando a atenção para que a diferença entre a condutividade à entrada e à saída, é muitas vezes um indicador mais fiável da correta condução das regas do que propriamente o volume de água drenada, em especial na época quente.

Tão importante como a quantidade de água a aplicar à cultura é a frequência e intervalo entre as regas. Nos cultivos sem solo a frequência de rega aumenta e a dotação diminui, comparativamente com as regas administradas a uma cultura em solo. (Miranda *et al.*, 2004).

As plantas reduzem drasticamente a transpiração durante o período noturno, retomando lentamente com o amanhecer, ora se o consumo de água é bastante influenciado pela transpiração, também as regas devem seguir as alturas de maior transpiração das culturas, cessando antes do anoitecer, de modo a diminuir a humidade durante a noite, e retomando durante o amanhecer, com maior frequência de rega entre as 10 horas e as 15 horas.

A gestão de rega na região Oeste é, na maioria dos casos, programada por tempos de rega e horários fixos durante o cultivo com pequenas oscilações (Santos, 2022). Normalmente a dotação e tempo de rega mantêm-se constante, o que os produtores alteram é a frequência com que regam. Para além de terem em conta a altura do dia com maior transpiração, analisam três parâmetros diariamente de modo a ajustarem o número de regas diárias. São eles, a percentagem de drenagem, que como visto anteriormente deve situar-se perto dos 30%, o pH da água drenada, idealmente entre os 6-6,5, e a condutividade elétrica da drenagem, que deve atingir uma diferença máxima perante a água de rega de mais 1 dS.m⁻¹. Quando os valores se alteram é necessário ajustar rapidamente o número de regas ou a solução nutritiva conforme o caso, como o exemplo seguinte, em caso de diferença de condutividade elétrica superior a 1 dS.m⁻¹ e/ou drenagem inferior a 20%, pode ser necessário realizar maior número de regas, de modo a lixiviar os sais retidos no substrato. No entanto, nem sempre é tão linear, exigindo um grande conhecimento técnico da cultura e do sistema utilizado.

O número de regas e o quantitativo total da água depende da qualidade do substrato, da época do ano, e do desenvolvimento e necessidades da cultura (Miranda *et al.*, 2004).

Dados do estudo de Caracterização da Gestão da Fertirrega de 2018, realizado no Oeste e na Póvoa do Varzim, indicam que o controlo da solução nutritiva é realizado por 58% dos inquiridos, enquanto os restantes 42% não fazem qualquer controlo. Todos os inquiridos que controlam a solução drenada medem a condutividade elétrica (CE), 71% controlam o pH, 43% controlam o volume drenado (Santos *et al.*, 2019).

6.2. Nutrição

Os princípios básicos da nutrição das plantas cultivadas em sistema hidropónico e cultivadas em solo não diferem substancialmente. No entanto, em sistemas sem solo a deficiência ou o excesso dos elementos nutritivos afetam a planta mais rapidamente e com maior frequência. Por outro lado, as culturas sem solo permitem um maior controlo da nutrição vegetal, de acordo com as necessidades da cultura e o meio onde se desenvolve (Miranda *et al.*, 2004). É importante a verificação visual da cultura de forma a identificar sintomas de deficiências.

Nas culturas sem solo todos os nutrientes que a planta necessita têm de ser fornecidos, sendo divididos em grupos, os macronutrientes (azoto, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre, molibdénio, boro, cloro), existindo ainda outros elementos importantes como o sódio, silício, entre outros (Miranda *et al.*, 2004).

Almeida (2006) destaca os momentos críticos de maior consumo nutricional, como, no início do vingamento dos frutos ocorre um grande aumento da absorção de azoto, fósforo e potássio, a importância da adubação potássica para a produção de frutos de boa qualidade, numa razão N:K₂O de 1:2 ou 1:3 é essencial. Refere ainda a importância das análises foliares ao longo do ciclo cultural como forma de monitorizar a nutrição.

A absorção de iões do meio nutritivo é um processo dinâmico e seletivo, destacando-se a proporção relativa entre os nutrientes na solução, o pH e a pressão osmótica, entre outros fatores, os quais podem interferir na absorção ou provocar a precipitação de compostos insolúveis. A concentração de um determinado nutriente nos tecidos afeta a sua absorção, de tal forma que a solução nutritiva deve apresentar as mesmas proporções que os nutrientes encontrados nos tecidos vegetais, em suas diversas fases de crescimento. (Prieto *et al.*, 1997)

6.3. Fertirrega

A grande diferença para o cultivo em solo é a forma como a fertilização é realizada, sendo que nos sistemas de CSS, cultura sem solo, os nutrientes chegam as plantas através da água de rega, mistura essa que se designa “Solução Nutritiva”.

A solução nutritiva deve ter em conta tanto o equilíbrio, como a concentração dos nutrientes que a compõem. Os elementos nutritivos devem encontrar-se em quantidades capazes de satisfazer a absorção ótima da cultura, tendo em consideração os fenómenos de sinergismo e antagonismo que existem entre os nutrientes (Miranda *et al.*, 2004).

Segundo Mota (2007) , a formulação da solução nutritiva obedece a diferentes passos:

- Escolha da Solução Tipo/Padrão: segundo Almeida (2006) existem diversas soluções tipo para o cultivo do tomate, como a de Hoagland. Miranda *et al.* (2004) apresentam 4 soluções padrão, distinguindo entre sistema de cultivo aberto, onde não existe recirculação da água drenada, e sistema fechado, onde a água de drenagem volta a circular no sistema de rega (quadro 2). Como vemos existem diversos tipos de solução nutritiva, algumas sugerem ajustes ao longo do ciclo cultural outras mantêm-se constantes.

De notar que ao contrário da cultura em solo que se trabalha por kg/ha ou unidades de fertilizantes por ha, em hidropónica ao se trabalhar com uma solução aquosa apresenta-se a concentração do nutriente na sua forma química em que é absorvido, em unidades físicas (mg/L) ou em unidades químicas (mmol/L);

Quadro 2 - Diferentes soluções nutritivas padrão (macronutrientes - mmol/L)(micronutrientes - mg/L) (Fonte: Miranda *et al.*, 2004)

Fonte	CE	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Vera (2002) ^a	2.6	13.0	0.5	2.0	9.5	7.0	3.0	6.0	1	0.6	0.05	0.3	0.4	0.05
Vera (2002) ^b	1.6	12.0	0.5	1.5	6.5	4.0	2.0	3.0	1	0.6	0.05	0.5	0.3	0.05
Ross (1998)	–	14.0	–	1.0	7.2	4.0	2.0	1.9	0.8	0.25	0.02	0.05	0.06	0.04
Canovas (1995)		12	0.5	1.5	7.0	4.0	2.0	2.0	1.1	0.8	0.05	0.3	0.3	0.05

a – sistema aberto; b – sistema fechado

- Análise da água de rega: a análise química da água de rega é fundamental para se ajustar a solução nutritiva à solução padrão escolhida. Uma boa qualidade da água de rega, pH neutro e CE inferior a 0,5-0,7 dS.m⁻¹, demonstra pouca concentração de sais, o que permite adicionar maior quantidade de nutrientes à água de rega, elevando a CE da solução nutritiva final até máximos de 3,5 dS.m⁻¹. A água de rega pode apresentar concentrações dos cátions Ca⁺², Mg⁺² e Na⁺, assim como os aniões Cl⁻ SO₄⁻², em quantidades superiores às recomendadas, pelo que é necessário ter em consideração as concentrações de nutrientes presentes na água (Alarcón, 2000; cit por Mota, 2007);
- Ajuste do pH: Segundo Miranda *et al.* (2004) o pH ótimo para a maioria das culturas hortícolas é aproximadamente de 6. Tendo este valor em mente e sabendo o valor de pH da água de rega, por norma é necessário acidificar a solução, para valores entre 5,5 e 6,5, uma vez que é nesta faixa de pH que existe:
 - (1) Melhor capacidade de troca catiónica;
 - (2) Maior disponibilidade dos nutrientes;
 - (3) Melhora da atividade microbiana;
 - (4) Redução de decantações e depósitos no sistema de rega.

Para baixar o pH recorre-se a injeção de ácido fosfórico ou ácido nítrico à água de rega, esta injeção é controlada por uma sonda existente no equipamento de fertirrega, sendo importante conhecer-se o poder tampão da água, de modo a não baixar demasiado o valor de pH;

- Ajuste dos nutrientes na solução nutritiva: Para se calcular a quantidade de adubo a colocar em cada cuba de fertirrega é necessário definir a quantidade de nutrientes a adicionar à água de rega. Para tal, é necessário ter a análise da água de rega com a concentração de nutrientes existentes, de modo a escolher a solução padrão e condutividade elétrica que se pretende seguir. Deste modo à solução padrão subtrai-se as concentrações de nutrientes vinculadas pela água de rega. Assim conseguimos determinar a quantidade de nutrientes, em mg/L ou mmol/L que é necessária adicionar. Contudo, e como explicado anteriormente trabalhamos com quantidade de nutriente (na sua forma elementar) e nos adubos comercializados a concentração desse nutriente é apresentado em forma de óxido (forma estabilizada do elemento químico), pelo que é necessário encontrar a sua massa molecular e

converter para calcular a quantidade em kg de adubo a adicionar. Existem diversas tabelas que se podem usar de modo a calcular a quantidade de adubo necessária;

- Preparação final da solução nutritiva: Determinada a quantidade de nutrientes e respetiva quantidade de adubo a adicionar a cada cuba de fertirrega, há que ter presente as compatibilidades entre adubos aquando das misturas nas cubas. Nos sistemas de cultivo sem solo utilizam-se grandes volumes de água na rega o que torna necessário a realização de tanques de solução-mãe para injeção das concentrações do equilíbrio na água de rega (Santos, 2022). Após a mistura nas cubas finalizada, o técnico deve programar o equipamento de fertirrega com o valor de CE estabelecido, que para o tomate roda os 2,5 mS/cm, valor medido por uma sonda. Depois de programado o equipamento de fertirrega irá adicionar adubo à água de rega até que a solução nutritiva apresente a CE pretendida.

Em resumo, temos três passos essenciais (Louro e Reis, 2020):

1. Obter análise da água de rega;
2. Conhecer a solução nutritiva “ideal”;
3. Determinar a quantidade de iões em falta.

Após estes procedimentos recorre-se a tabelas, quadros e/ou programas de cálculo de solução nutritiva.

6.4. Qualidade da Água de rega

A qualidade da água de rega é de extrema importância nos sistemas de cultivo sem solo, depende da sua concentração em sais, do pH, da presença de organismos tais como algas, fungos ou bactérias e em particular de resíduos que possa conter (Miranda *et al.*, 2004).

Na região Oeste as principais fontes de água são os furos, que devido à escassez de água têm vindo a ser feitos a uma maior profundidade chegando às águas subterrâneas mais profundas, que numa região costeira apresentam salinidades maiores, logo CE superiores a 1 mS/cm, tornando-se pouco aconselhado o seu uso para rega. Como tal, os produtores têm como alternativa a construção de grandes charcas, com capacidade de armazenar a água das chuvas que cai sobre os telhados das estufas, permitindo a autossuficiência hídrica da exploração. Por norma, e em conformidade com Miranda *et al.* (2004), a recolha das águas da chuva tem a grande vantagem de estas serem normalmente de boa qualidade, a sua condutividade é relativamente baixa, assim como a probabilidade de vincular fungos ou bactérias, aliado a um menor gasto energético de captação hídrica.

7. Drenagem

Quando se cultiva em substratos é necessário deixar drenar parte da solução de rega aplicada, de acordo com as condições ambientais, as propriedades do substrato e a cultura. Normalmente esta percentagem de drenagem situa-se entre 20 a 40% da solução de rega. Desta forma, evitam-se problemas de desequilíbrios na solução disponível para absorção das plantas, como por exemplo, o excessivo aumento da sua condutividade elétrica, em situações de ausência ou reduzida drenagem (Miranda *et al.*, 2004).

Saber qual é a percentagem de solução nutritiva drenada é um dos principais parâmetros para uma boa gestão de rega. O seu cálculo é simples, no entanto exige uma bandeja de medição, onde seja possível aferir o volume de água debitado pelos gotejados e o volume drenado por saco de substrato.

$$\text{Percentagem de Drenagem} = \frac{\text{Volume solução drenada (litros)}}{\text{Volume debitado por gotejador x número gotejadores}} \times 100$$

Não só a percentagem de drenagem é aferida, como também se realizam medições de pH, CE e em alguns casos recolhe-se a solução drenada para análises químicas e biológicas.

7.1. Sistema Aberto versus Sistema Fechado

Quanto ao destino da solução drenada os sistemas de cultivo sem solo caracterizam-se de dois modos:

- Sistema Fechado: neste tipo de sistema a água da drenagem é reaproveitada e volta a entrar no sistema de rega, evitando-se perdas de água e de nutrientes que não foram absorvidos pelas plantas. A água da drenagem é armazenada e antes de entrar de novo no sistema de rega é desinfetada, corrigido o pH e são adicionados os nutrientes em falta. No entanto uma pequena percentagem tem de ser descartada de tempos em tempos.

Os sistemas fechados permitem uma economia de água entre 20 a 30% e de adubos superior a 40%, eliminando o risco para o meio ambiente, no entanto a rentabilidade do sistema depende principalmente do custo e eficácia do sistema de desinfecção (Cañadas, 2001, cit. Louro & Reis, 2020).

- **Sistema Aberto:** é um sistema onde a água drenada não volta a entrar no sistema de rega da estufa, sendo normalmente encaminhado para uma charca onde irá servir para regar culturas de ar livre. O descarte dos drenados não deve ser feito para o meio ambiente, pois para além da perda de nutrientes, gera um impacto negativo nos ecossistemas desequilibrando-os. O encaminhamento correto é importante, sendo punível a libertação no meio ambientes de água sem o devido tratamento.

A cultura em sistema aberto é uma técnica menos onerosa e menos exigente, mas que coloca alguns problemas a nível ambiental, devido ao desperdício da solução nutritiva drenada. Os aperfeiçoamentos técnicos na cultura permitem reciclar a drenagem com segurança, reduzindo o consumo de água e adubos, bem como o impacto negativo ao nível ambiental (Rosa *et al.*, 2006).

7.2. Reaproveitamento da Solução Drenada

A reciclagem da solução drenada faz-se introduzindo-a novamente no circuito automatizado de «fabrico» da solução nutritiva, adicionando-lhe os nutrientes e a água que esta perdeu ao passar pelo substrato e corrigindo-lhe o pH, desinfetando-a antes de a reintroduzir na rega, de modo a prevenir a disseminação de agentes patogénicos (Miranda *et al.*, 2004).

É possível que a água de drenagem seja incorporada, parcialmente ou na totalidade, na solução nutritiva, o que baixa a necessidade de injeção de adubos, uma vez que a água da drenagem traz consigo nutrientes não consumidos pelas plantas. A máquina de rega corrige o pH e procede à adição de nutrientes, até que a solução nutritiva atinja a CE pretendida. Neste caso, e como a água da drenagem tem uma CE superior a água de rega, será necessária menor adição de adubos.

Segundo Louro *et al.* (2020), um dos principais motivos para o reaproveitamento da solução nutritiva é a redução do desperdício dos fatores de produção, sendo os mais significativos a água e o azoto. A figura 2 é um exemplo do balanço de água e de azoto no cultivo sem solo em sistema aberto de tomate em lâ-de-rocha, com duas culturas por ano, com produtividade de 20kg/m (Incrocci, 2011; cit. Louro & Reis, 2020).

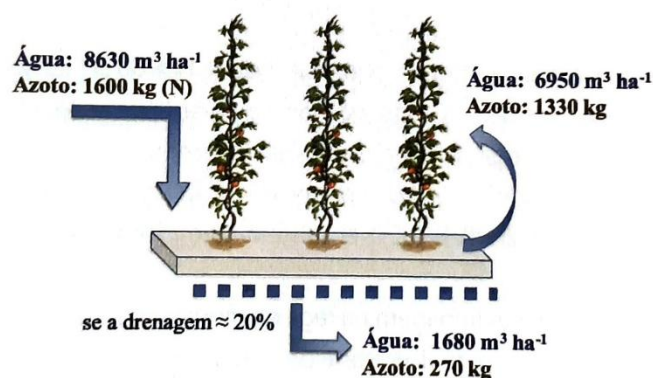


Figura 2 - Balanço de água e azoto no css em sistema aberto de tomate em lâ-de-rocha (Fonte: Louro & Reis, 2020)

A reciclagem da solução drenada no sistema permite reduzir os consumos hídricos, enquanto reaproveita os nutrientes reduzindo significativamente o aporte de adubos, o que reduz os custos de produção.

A grande desvantagem deste sistema é o aumento do risco de contaminações de agentes patogénicos que usam a água como meio de propagação, tais como oomicetas (*Pythium spp.*, *Phytophthora spp.*), fungos (*fusarium*, *Verticilium spp.*), bactérias (*Clavibacter michiganensis*, *Pseudomonas corrugata*), vírus e nemátodos (Bergstrand, 2009; cit. Louro & Reis, 2020).

Louro *et al* (2020) mencionam que os metabólitos radiculares, quando em elevada concentração, podem causar auto-toxicidade e redução da absorção de nutrientes.

Deste modo torna-se essencial, não só a renovação da solução nutritiva, de modo a evitar desequilíbrios nutricionais, mas principalmente exige um sistema de desinfecção eficaz na eliminação de agente patogénicos presentes na drenagem. Estes sistemas, para além da dificuldade em se obter altos rendimentos e boas eficácias, elevam os custos do sistema.

7.3. Métodos de desinfeção

Diferentes métodos de desinfeção de águas podem ser aplicados nos sistemas de cultivo sem solo, diferindo na forma como reduzem ou eliminam os agentes patogénicos, resíduos de fitofarmacêuticos, metabólitos radiculares e em alguns casos alterações nos iões presente na solução. Os diferentes métodos apresentam características bem distintas entre si, desde logo o custo de aquisição, funcionamento e manutenção, passando pelo método de funcionamento, em contínuo ou não, volume de água desinfetado (m^3/h), e o principal, a eficácia (Louro & Reis, 2020; Miranda *et al.*, 2004).

Alguns tipos de sistemas de desinfeção:

- Filtração lenta;
- Radiação ultravioleta;
- Calor;
- Ozono;
- Ozono e peróxido de hidrogénio.

Os sistemas de desinfeção apresentam-se ordenados pelo nível de investimento total, do menor para o maior, todos com características e níveis de eficácia distintos, beneficiando de modo geral de uma pré-filtração.

Na região Oeste o sistema de tratamento por ozono é o mais utilizado, no entanto é aplicado de diferentes formas, o que afeta diretamente a sua eficiência. O ozono é obtido por pequenos geradores que transformam moléculas de oxigénio em ozono.

Segundo Louro *et al.* (2020) é um método eficaz conseguindo eliminar todos os patógenos, incluindo vírus, dependendo da concentração e do tempo de atuação. Tem ainda a capacidade de reduzir os quelatos, não altera o pH e tem capacidade de tratar grandes volumes de água em contínuo (Miranda *et al.*, 2004).

Quando utilizado em contínuo, por exemplo, injetado nas condutas de rega, mesmo em maior concentração torna-se pouco eficaz devido ao pouco tempo de contato com os microrganismos. Outro método mais eficaz é a injeção de ozono num tanque de armazenamento da água, permitindo maior tempo de exposição.

O ponto crítico para garantir a eficácia do sistema é controlar o tempo de exposição e a sua concentração.

Devido à baixa eficácia de alguns sistemas de ozono, no último ano sistemas que utilizam em simultâneo, ozono, peróxido de hidrogénio e hipoclorito de sódio, ganharam destaque nas estufas da região pela sua maior eficácia na eliminação de vírus, bactérias e fungos (Agrirega, comunicação pessoal, 2024).

Contudo, o reaproveitamento da solução drenada não depende apenas de uma desinfecção eficaz, mas também de uma boa qualidade da água de rega, nomeadamente uma CE inferior a 0,6 mS/cm, o que permite manter a salinidade total da solução nutritiva dentro dos valores de tolerância da cultura, assim como o equilíbrio nutricional. Quando a CE aumenta em demasia, e existe desequilíbrio na solução nutritiva, pode ser necessário descartar a solução drenada.

7.4. Monitorização da solução nutritiva e da solução drenada

A monitorização da solução nutritiva e da solução drenada é essencial para que se possa controlar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas.

Controlar a solução drenada permite saber se a desinfecção está a ser ou não eficaz e ajustar o pH e CE. Estes parâmetros são decisivos para se decidir avançar com a reciclagem da solução drenada, visto que a mesma terá de ser descartada quando os valores de CE são demasiados elevados e/ou se deteta agentes patogénicos na drenagem pós o processo de desinfecção. A análise permite ainda saber a quantidade e que iões contém a solução drenada, possibilitando um ajuste nutricional na solução nutritiva e detetar défices de nutrientes.

A solução nutritiva também deve ser analisada, não só para verificação dos parâmetros, mas como forma de calibrar as sondas da máquina de fertirrega.

Segundo Louro & Reis (2020) a CE e o pH devem ser monitorizados diariamente, devido à rapidez com que sofrem alterações, podendo ser utilizados aparelhos portáteis desde que de boa fiabilidade. Já a quantificação da concentração dos nutrientes é um processo mais moroso e caro, que necessita de equipamentos mais sofisticado ou de ser enviada uma amostra para laboratório, pelo que pode ser realizada quinzenal ou mensalmente.

7.5. Sistema de rega e recolha da drenagem

Os sistemas de rega das culturas sem solo são idênticos aos existentes para as culturas no solo. No entanto, em CSS a rega e a fertilização são sempre simultâneas e normalmente durante todo o ciclo cultural. Nos sistemas de CSS fechados o sistema de rega inclui ainda a recuperação e tratamento da drenagem, para regar a mesma cultura, recuperando água e nutrientes e evitando a contaminação do meio ambiente (Louro & Reis, 2020).

Na figura 3 podemos observar um esquema tipo do sistema de rega, onde a solução drenada é recolhida por um primeiro reservatório e analisado o pH e CE, posteriormente é transferida para um depósito de maiores dimensões e ajustado o pH (com ácido) e a CE (com a adição de água doce). De seguida é bombeada, passa pelos processos de filtragem, desinfecção, adição de nutrientes e um novo ajuste de pH, seguindo para a rega da cultura.

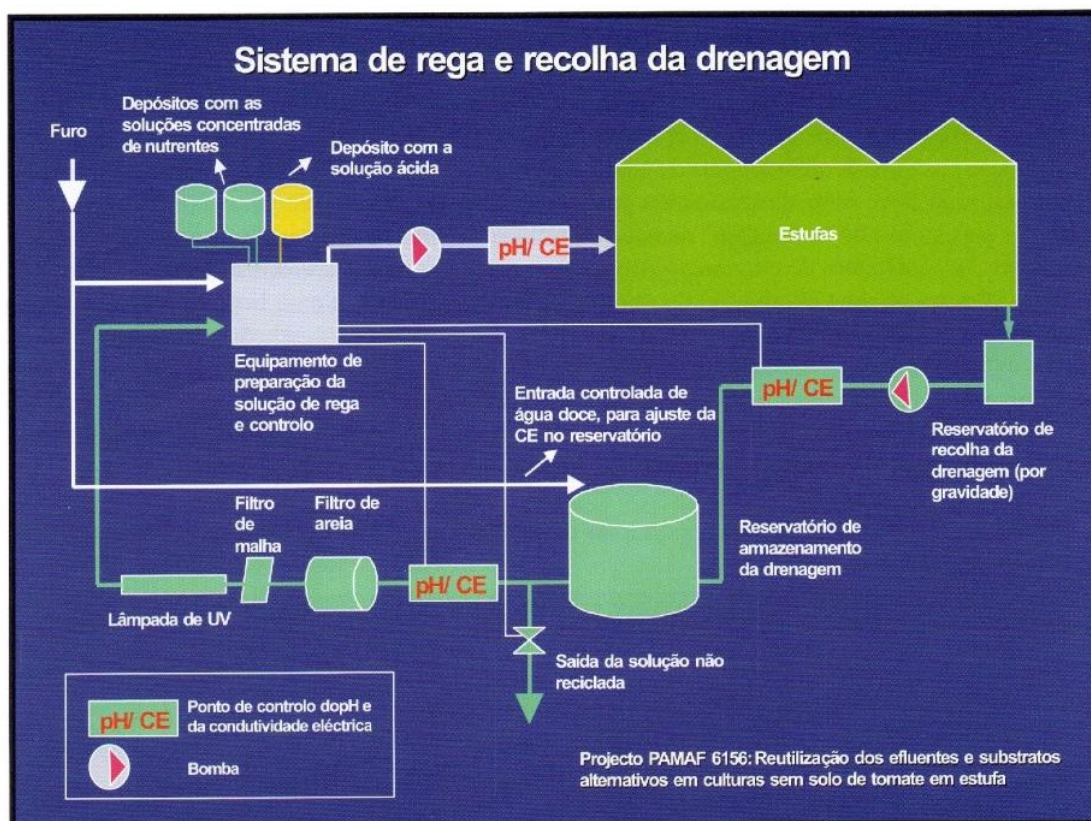


Figura 3 - Esquema do sistema de rega e reciclagem da solução drenada (Fonte: Miranda et al, 2004)

7.6. Legislação

A necessidade de reciclagem da solução de drenagem prende-se não só com razões económicas, mas principalmente ambientais e legais.

Em Portugal cerca de 75% da água é utilizada na atividade agrícola e pecuária, apesar de apenas 15,9% da SAU ser irrigável. Contudo, devemos ter em conta que o setor agrícola, para além de consumidor de água tem um papel no ciclo da água, nomeadamente através da alteração do regime fluvial e da recarga dos sistemas aquíferos, e um contributo importantíssimo para os serviços dos ecossistemas (DGAV, 2022).

Do ponto de vista legal, as normas de proteção do ambiente, como a relativa à proteção das águas subterrâneas (Diretiva Nitratos-91/676/EEC) e à proteção das águas superficiais (WFD – Diretiva-Quadro 2000/60/EC), podem vir a condicionar ou impossibilitar o cultivo em sistemas abertos, sendo expectável o incremento das limitações legais à rejeição da drenagem (Louro & Reis, 2020).

8. Material e Métodos

8.1. Caracterização da exploração

A empresa onde foi realizado o estudo foi a “HortoMaria, Produção Hortícola, Lda.”, empresa com mais de 25 anos e sede em A-Dos-Cunhados. Atualmente com cerca de 20 ha de estufas, a sua principal produção é o tomate com as variedades cacho e salada em destaque, em menor quantidade produzem outros hortícolas.

A estufa onde se realizou o estudo insere-se num complexo de três estufas, com um total de 9 ha, denominadas “Estufas do Moinho – Alto Estiveiras” e divididas pela numeração 1, 2 e 3.

Neste trabalho acompanhou-se a “Estufas do Moinho – Alto Estiveiras – nº 3”, que tem uma área de 2 ha, pé direito de 5 metros com aberturas zenitais, construída com orientação Nordeste – Sudoeste, permitindo uma boa exposição solar e ao mesmo tempo um bom arejamento.

As estufas foram construídas com inclinação de 1 a 3%, de modo, a que toda a água que caia sobre a estrutura seja encaminhada para a Charca 1 (figura 4).

Nesta exploração utilizam apenas águas pluviais para rega, que são encaminhadas para uma charca com capacidade de armazenamento superior a 100 hm. A Charca 2, recebe apenas a água que, após cada rega é drenada.

A empresa já testou a reutilização da água de drenagem, injetando-a de volta no sistema de fertirrega, no entanto o aparecimento de problemas fitossanitários derivados desta reutilização têm-se mostrado um grande desafio.



Figura 4 - Imagem aérea da exploração

8.2. Cultura

O estudo incidiu sobre a cultura do tomate salada, variedade Arano em planta enxertada, na 2ª Campanha de produção, com a plantação a decorrer na segunda semana de julho. A colheita iniciou-se gradualmente a meados de agosto e terminou na primeira semana de novembro, com uma produtividade na ordem das 120 ton/ha. As plantas foram conduzidas com duas hastes, numa densidade de plantação de 1,2 plantas/m², representando uma densidade de hastes de 2,4 hastes/m².

A variedade Arano destaca-se por apresentar frutos de calibres grandes, com qualidade uniforme, com coloração excelente. É uma planta de vigor médio-alto, com boa cobertura foliar, proporcionando proteção aos frutos. Apresenta boa percentagem de vingamentos, tanto em condições de calor como de frio, sendo ideal para ciclos curtos de produção. Entre as resistências destacam-se alta resistência ao vírus do mosaico do tomate, nemátodos e fusários. Apresenta ainda resistência intermediária ao Vírus do bronzeamento do tomate e vírus do enrolamento amarelo do tomateiro (Fitoagricola, 2024).

8.3. Sistema de Cultivo

A exploração trabalha no sistema de Cultivo Sem Solo em substrato de fibra de coco. Os sacos de cultivo são colocados sobre uma tela de drenagem, ligeiramente elevados para que a solução drenada possa ser encaminhada para a charca de armazenamento, sem o risco de contaminar outros sacos de cultivo, como observado na figura 5. Em cada saco são colocadas três plantas, conduzidas a duas hastes cada, e um tubo gotejador junto de cada planta (figura 6).



Figura 5 - Saco de cultivo em cima da tela de drenagem



Figura 6 - Demonstração da densidade de plantação

Descrição do substrato

“Placas golden grow - Para uma cultura hidropónica de alta tecnologia, contamos com as Placas Golden Grow. Indicadas para: a cultura de tomate, pepino, melão, melancia ou determinadas flores ornamentais. As nossas placas apresentam uma granulometria progressiva, fina na parte superior e grossa na parte inferior para ter os melhores resultados de drenagem. Material 100% natural, renovável e reciclável.” (Projar, 2024).

8.4. Sistema de Fertirrega

O sistema de fertirrega é constituído por duas charcas de armazenamento (uma de águas pluviais e uma de água de drenagem), o sistema de bombagem conta com bombas de caudal variável e condutas até a estação de fertirrega.

A estação de fertirrega é constituída por:

- Uma máquina de fertirrega, onde é realizada a mistura de nutrientes com a água de rega, com controlo por sondas de pH e CE (figura 7 e 8). Toda a programação de rega, como o tempo de regas e número de regas é ajustado diretamente na máquina.



Figura 7 - Máquina de fertirrega



Figura 8 - Sistema de injeção das soluções nutritivas na água de rega

- Tanques de fertirrega com a capacidade de 5 mil litros cada (figura 9), com a seguinte distribuição de adubos:
 - Tanque 1: Ácido Fosfórico
 - Tanque 2: Fosfato de Monopotássio + Sulfato de Magnésio
 - Tanque 3: Nitrato de Cálcio
 - Tanque 4: Nitrato de Cálcio
 - Tanque 5: Nitrato de Potássio + MicronutrientesA concentração de cada tanque encontra-se no quadro 3.



Quadro 3 - Quantificação dos adubos por tanque de fertirrega

Tanque (5 000 l)	Tipo de Adubo	Quantidade
1	Ácido Fosfórico	75 l
2	Fosfato de Monopotássio	150 kg
	Sulfato de Magnésio	250 kg
3	Nitrato de Cálcio	325 kg
4	Nitrato de Cálcio	350 kg
5	Nitrato de Potássio	450 kg
	Micros	10 kg

Figura 9 - Tanques de fertirrega, com capacidade de 5 mil litros cada

- Máquina de ozono, para desinfecção da solução nutritiva. O ozono é injetado diretamente na conduta de rega que leva a solução nutritiva da máquina de rega até aos cabeçais de rega.
- Linhas de rega, o conjunto final de distribuição da rega é constituído por linhas gota a gota, onde em cada gotejador é inserido um microtubo e uma estaca gotejadora, para maior precisão. Na exploração, cada gotejador tem um débito de 3 L/hora.

8.5. Quantificação do Volume de Drenagem

Os sacos de cultivo antes de colocados para produção são perfurados no fundo para que a água possa sair do seu interior, são ainda colocados em cima de suportes de plástico para não estarem em contacto direto com o canal de drenagem e, conseqüentemente, com a solução drenada de outros sacos. Isto evita que exista contaminação cruzada, derivada dos microrganismos presentes na solução drenada.

A solução drenada é encaminhada, através de um canal de drenagem e condutas, para uma charca onde é armazenada.

A contabilização da percentagem da solução drenada é realizada com recurso a uma “bancada de medição”, como pode ser observada na figura 10, onde são armazenados os volumes de água debitado por um gotejador e o volume de água drenada de três sacos de cultivo, cada saco com três gotejadores. Semanalmente são medidos os respetivos volumes e é contabilizada a percentagem de drenagem, recorrendo-se à seguinte formula de cálculo:

$$\text{Percentagem de Drenagem} = \frac{\text{Volume solução drenada (litros)}}{\text{Volume debitado por gotejador} \times \text{número gotejadores}} \times 100$$



Figura 10 - Sistema de recolha da drenagem

8.6. Quantificação do Volume de Rega

Para calcular o volume de rega por hectare, utilizou-se também a bandeja de medição para determinar o débito diário de um gotejador. Após esta medição, o valor obtido foi multiplicado pelo número total de gotejadores existentes por hectare, resultando no volume de água aplicado diariamente por hectare.

Com base neste valor, foi possível calcular o volume total de rega correspondente a cada intervalo entre recolhas de amostras, permitindo associar os dados analíticos às fases do ciclo cultural.

8.7. Quantificação dos Nutrientes

A quantificação dos nutrientes presentes na solução nutritiva e na solução drenada foi realizada com base nas análises laboratoriais, que forneceram as concentrações dos elementos em mg/L. A partir destes dados, e do volume total da solução nutritiva e solução drenada recolhidos na bandeja de medição, calculou-se a quantidade de cada nutriente na forma elementar por unidade de área, em kg/ha, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Quantidade de nutriente (kg/ha)} = \frac{\text{Concentração (mg/L)} \times \text{Volume (L)}}{1\,000\,000}$$

Posteriormente, procedeu-se à conversão dos nutrientes da forma elementar para a forma oxidada, uma vez que os fertilizantes são comercializados com os teores de nutrientes expressos na forma de óxido. Para tal, aplicaram-se os fatores de conversão adequados. (IFA, 2025)

Por exemplo, o fósforo (P) foi multiplicado por 2,29 para obter o equivalente em P₂O₅, e o potássio (K) por 1,20 para a forma K₂O.

8.8. Análise Económica

Procedeu-se à análise económica dos custos associados à fertilização, bem como à estimativa das perdas económicas decorrentes da drenagem de nutrientes. Para tal, determinou-se a quantidade total de nutrientes aplicada à cultura e a fração perdida através da drenagem. Com base nesses valores, extrapolou-se a quantidade equivalente de adubo comercial, considerando os fertilizantes efetivamente utilizados pelo produtor e a percentagem de cada nutriente por kg de adubo utilizado.

Posteriormente, estimou-se o custo total da adubação, tanto a aplicada na fertirrega como a perdida por drenagem. Os preços dos fertilizantes foram obtidos junto da cooperativa Louriccop, CRL.

8.9. Análises Químicas e Biológicas

As análises químicas das águas foram realizadas no laboratório do Instituto Superior de Agronomia. As amostragens decorreram com uma frequência média de 15 dias, desde o início do ciclo cultural até à sua fase final. Para cada ponto de recolha (água da charca, solução nutritiva e drenagem), foram recolhidas três repetições independentes, que foram homogeneizadas de modo a reduzir o erro de amostragem. A amostra final foi reduzida para um volume de aproximadamente 0,5 L, acondicionada em frasco identificado, congelada e posteriormente entregue para análise laboratorial.

Este procedimento foi adotado por razões logísticas e económicas, uma vez que o transporte e análise individualizada de todas as repetições implicaria um custo elevado e complexidade acrescida no armazenamento e envio de amostras, impossibilitando a realização deste estudo. A mistura das repetições permitiu manter a representatividade da amostragem, reduzindo variabilidade pontual sem comprometer a fiabilidade dos resultados.

Foram recolhidas amostras de três locais:

- Água de rega, da charca que recebe água da chuva, com a amostra recolhida diretamente na conduta que leva a água até a máquina de fertirrega (Charca);

- Solução nutritiva, recolhida no tubo gotejador. Deixou-se sair as impurezas e aguardou-se alguns minutos antes de retirar a amostra, de modo a evitar resíduos e a recolher-se a solução nutritiva mais aproximada à recebida pelas plantas (Sol. Nutritiva);
- Drenagem, a amostra da solução drenada foi recolhida diretamente na charca que recebe exclusivamente a solução drenada (Drenagem).

Dividiu-se o ciclo cultural em três fases:

- Fase 1: início do ciclo cultural, desde a plantação até à primeira floração;
- Fase 2: fase intermédia, contabilizada desde a primeira floração até vingamento do último cacho;
- Fase 3: fim do ciclo cultural, após o vingamento do último cacho até à sua colheita.

A análise química das águas teve como objetivo quantificar os nutrientes presentes, principalmente na solução drenada, de modo a:

- Reintroduzir a solução drenada no sistema de fertirrega, sabendo quais os nutrientes e a sua concentração, permitindo ajustar a solução nutritiva;
- Quantificar economicamente o valor da solução nutritiva, comparativamente com os custos da sua desinfeção e reutilização;
- Detetar-se carências ou excessos nos nutrientes fornecidos.

Os parâmetros analisados nas águas foram:

- pH
- Condutividade Elétrica
- Cloretos
- Bicarbonatos
- Azoto Nítrico (N-NO₃)
- Azoto Amoniacal (N-NH₄)
- Fósforo (P)
- Potássio (K)
- Cálcio (Ca)
- Magnésio (Mg)
- Enxofre (S)
- Ferro (Fe)

- Cobre (Cu)
- Zinco (Zn)
- Molibdénio (Mn)
- Boro (B)

Antes do início do ensaio foi necessário realizar uma análise biológica, de forma a comprovar se o sistema de desinfeção estava a funcionar corretamente e se seria viável avançar com reintrodução da água de drenagem no sistema. Esta análise foi realizada no laboratório Agrama Ciencia y Vida. A amostra para análise foi retirada no gotejador, estando a rega a ser realizada com a solução nutritiva na seguinte percentagem 70% água da charca limpa e os restantes 30% água drenada e a desinfeção por sistema de ozono.

8.10. Solução Nutritiva

O produtor utiliza uma solução nutritiva que, ao longo dos anos, foi sendo ajustada com base na experiência prática, em observações de campo e na evolução das condições da exploração. Esta solução, embora baseada nas recomendações técnicas gerais, apresenta diferenças face às soluções padrões publicadas na literatura.

O Quadro 4 apresenta uma comparação entre uma solução padrão recomendada por Louro & Reis (2020) e a solução adotada pelo produtor. Embora seja possível ajustar a composição da solução nutritiva, optou-se por manter a solução já utilizada na exploração, de forma a não interferir na prática agrícola real e preservar a fidelidade dos resultados.

Quadro 4 - Comparação de uma solução padrão com a solução nutritiva utilizada

mg/L	CE	N-NH4	N-NO3	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B
Solução Recomendada	2,6	7	182	62	371,5	280,7	72,9	192,6	1	0,6	0,05	0,3	0,4
Solução Nutritiva Utilizada	2,6	7,5	166,4	60,84	269	235,9	50,5	67,5	1,8	0,6	0,07	0,04	0,1

Com esta decisão pretendeu-se garantir que os dados obtidos (volume de drenagem, concentração de nutrientes e perdas económicas) fossem representativos da realidade dos produtores da região, permitindo uma análise mais aplicável e útil num contexto

prático. Alterar a solução nutritiva poderia enviesar os resultados, uma vez que o ensaio se focava na reintrodução da drenagem.

Saber a concentração de nutrientes da solução nutritiva utilizada é essencial para que ao se introduzir a solução drenada, que previsivelmente virá com uma relação distinta entre os nutrientes, se faça o ajuste e injete somente os nutrientes nas quantidades necessárias a manter a relação dos valores desejados.

8.11. Análise Estatística

A análise estatística teve como principal objetivo identificar diferenças significativas nos parâmetros químicos das águas (pH, CE, macro e micronutrientes) ao longo das diferentes fases do ciclo cultural (F1, F2 e F3), para cada tipo de solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem).

Pretendeu-se, por um lado, perceber a evolução dos parâmetros ao longo do tempo dentro de cada tipo de água e, por outro, avaliar se a solução drenada continha quantidades significativas de nutrientes, que justificariam a sua reutilização e permitiria estimar perdas económicas por lixiviação.

Os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) com dois fatores:

- Tipo de solução (charca, nutritiva, drenada);
- Fase do ciclo (F1, F2, F3);

Recorreu-se ao teste LSD (Least Significant Difference), com um nível de significância de $\alpha = 0,05$, para identificação das diferenças estatisticamente significativas entre médias. Nas figuras, os resultados com diferenças estatisticamente significativas são representados por letras diferentes. Colunas com a mesma letra não diferem significativamente entre si ($p > 0,05$).

A análise estatística foi realizada com o auxílio do software Statistix 9.0.

Esta abordagem permitiu validar a consistência dos dados obtidos, identificar carências ou excessos nutricionais ao longo do ciclo e sustentar os cálculos de viabilidade económica associados ao reaproveitamento da solução drenada.

9. Resultados e discussão

9.1. Análise Microbiológica

A análise microbiológica realizada à solução nutritiva (70% água da charca limpa + 30% água da drenagem) após desinfecção pelo sistema de ozono, detetou dois fitopatógenos (quadro 5): *Fusarium spp.* e *Pythium spp.*. Comprovando-se que o sistema de desinfecção não estava a ser eficaz na eliminação dos fungos que circulam na água drenada.

Assim, e sendo a água drenada um veículo de transmissão de doenças, decidiu-se não avançar com a reintrodução da água drenada na 2ª campanha da cultura do tomate. Tendo em conta que o risco de redução da produção, ou até, perda total da cultura era elevado. O que impossibilitou o objetivo de acompanhar a reintrodução da drenagem na solução nutritiva, até que se consiga tornar a desinfecção 100% eficiente.

Quadro 5 - Resultados da análise microbiológica da água após desinfecção

Parâmetro	Resultado	Método	Técnica
<i>Fusarium spp.</i>	DETETADO	Interno	PCR convencional
<i>Phytophthora spp.</i>	não detetado	Interno	PCR convencional
<i>Pythium spp.</i>	DETETADO	Interno	PCR convencional
<i>Verticillium spp.</i>	não detetado	Interno	PCR convencional

9.2. Análises Químicas

Os resultados das análises químicas são apresentados de seguida, onde se compara as diferenças nas concentrações entre a água da charca, a solução nutritiva e drenagem, ao longo das três fases do ciclo cultural.

9.2.1. pH

A análise de variância dos dados obtidos indicou um efeito significativo ($p \leq 0,05$) da “fase do ciclo” e um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) da “solução” no pH. No entanto, a interação entre os dois fatores foi significativa ($p \leq 0,05$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise. Assim, apresenta-se na figura 11 os valores de pH para a interação “fase * solução”.

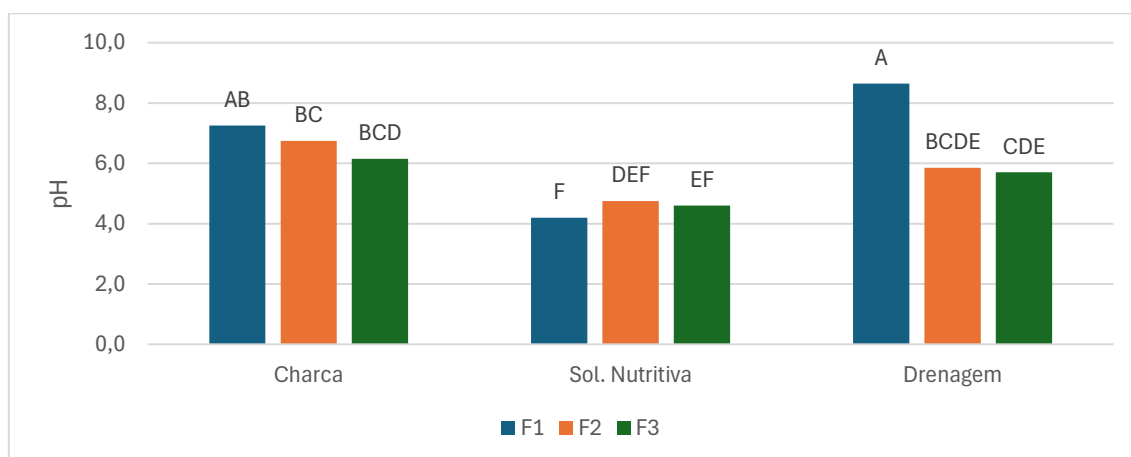


Figura 11 - Evolução do pH da água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Como seria de esperar, o pH da água da charca é em média de 6,7 em todas as fases, uma vez que a charca armazena apenas águas pluviais, que se caracterizam por um pH entre os 5,6 e os 7 (IPMA, 2024).

O valor médio do pH na solução nutritiva foi de 4,5. Este valor está abaixo do valor recomendado para o cultivo hidropónico que varia entre 5,5 e 6,5 (Louro & Reis, 2020). Valores abaixo de 5 dificultam a absorção de molibdénio, azoto e enxofre e facilita a absorção do alumínio e manganês (Anthura, 2018; cit. Louro & Reis, 2020).

O pH da drenagem é em média 6,7. O valor é mais elevado do que o da solução nutritiva porque a absorção dos nutrientes pelas raízes das plantas provoca alterações do pH, uma vez que quando absorvem nutrientes ocorre uma troca iónica, com a libertação principalmente de bicarbonatos (Sala & Urrestarazu, 2004; cit. Louro & Reis, 2020).

9.2.2. Condutividade Elétrica

Relativamente à condutividade elétrica (CE) das soluções, a análise estatística do dado indicou a existência de diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre soluções e diferenças não significativas ($p > 0,05$) entre fases. No entanto, a interação entre os dois fatores não é significativa, indicando que não há interação entre os fatores, isto é, os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente (CE) é o mesmo, independentemente do nível do outro fator.

Assim, para o fator “solução”, verifica-se que a água da charca foi a que apresentou valores de CE mais baixos (quadro 6), em média 1,12 mS/cm, a água de drenagem foi a que apresentou valores mais altos (4,05 mS/cm) e a solução nutritiva a que apresentou valores intermédios. Na água de drenagem houve um aumento da CE de 262% e 94%, relativamente à água da charca e à solução nutritiva, respetivamente.

O valor de 1,12 mS/cm de condutividade elétrica da água da charca, segundo alguns autores é um valor considerado elevado para a água de rega (Schröder & Lieth, 2022; cit Miranda *et al.*, 2004), ainda mais quando se trata apenas de água da chuva. Miranda *et al.* (2004) afirmam que uma água de boa qualidade não deve exceder 0,5 mS/cm.

No entanto este valor mais elevado pode ser explicado, uma vez que a meados de agosto o produtor adicionou 75 kg sulfato de cobre para eliminar o desenvolvimento de algas, o que alterou a concentração de nutriente na água da charca, elevando assim a

CE. Como observado, a CE média na fase 1 é de 0,77 mS/cm, aumentando na fase 2 para 1,37 mS/cm, o que condiz com a data de aplicação de sulfato de cobre.

O valor de CE da solução nutritiva apresentado nas análises estão de acordo com os valores (2,5 mS/cm) indicados por diversos autores (Miranda *et al.*, 2004; Louro & Reis, 2020; Santos, 2021) apresentando uma média de 2,09 mS/cm.

O valor médio de CE na água da drenagem é de 4,05 mS/cm, que como seria de esperar são superiores aos da solução nutritiva. Estes valores acompanham e dependem diretamente dos valores de CE da solução nutritiva, notando-se uma correlação entre ambos. No entanto são superiores em 2 mS/cm, quando o recomendado é a diferença máxima entre CE da solução nutritiva e drenagem seja de 1,5 mS/cm (Louro & Reis, 2020; Miranda *et al.*, 2004).

9.2.3. Bicarbonatos

A análise de variância dos dados indicou uma diferença não significativa ($p > 0,05$) da “fase” e uma diferença altamente significativa ($p \leq 0,001$) da “solução”. No entanto, a interação entre os dois fatores não é significativa, indicando que não há interação entre os fatores, isto é, os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente é o mesmo, independentemente do nível do outro fator.

Verifica-se para o fator “solução”, que a solução nutritiva apresenta o menor valor, 19,57 mg/L, em comparação com os 49,73 mg/L da drenagem e os 61,43 mg/L na charca (quadro 6). Estando o teor de bicarbonatos dentro dos limites referidos por Louro & Reis, aconselhando manter a solução nutritiva inferior a 1,2 mmol/L (73,2 mg/L).

Quadro 6 - Valores médios de condutividade elétrica (CE em mS/cm) e bicarbonatos (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.

Fator	CE (mS/cm)	Bicarbonatos (mg/L)
Fase		
Fase 1	2.3 ^A	45.12 ^A
Fase 2	2.72 ^A	47.92 ^A
Fase 3	2.24 ^A	37.70 ^A
Significância	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>
Solução		
Charca	1.12 ^C	61.43 ^A
Sol. Nutritiva	2.09 ^B	19.57 ^C
Drenagem	4.05 ^A	49.73 ^C
Significância	***	***
Fase * Solução		
<u>Charca</u>		
Fase 1	0.77 ^E	61.00 ^A
Fase 2	1.37 ^{DE}	68.25 ^A
Fase 3	1.21 ^{DE}	55.05 ^{AB}
<u>Sol. Nutritiva</u>		
Fase 1	2.57 ^C	16.75 ^D
Fase 2	1.88 ^{CD}	21.85 ^{CD}
Fase 3	1.82 ^{CD}	20.10 ^{CD}
<u>Drenagem</u>		
Fase 1	3.57 ^B	57.60 ^{AB}
Fase 2	4.90 ^A	53.65 ^{AB}
Fase 3	3.69 ^B	37.95 ^{BC}
Significância	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>

Nota – Nível de significância pela ANOVA: n.s. – não significativo ($p > 0,05$); * - significativo ($p \leq 0,05$); ** - muito significativo ($p \leq 0,01$); *** - altamente significativo ($p \leq 0,001$). Em cada coluna, para cada fator (fase e solução) e na interação, os valores com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($\alpha = 0,05$).

9.2.4. Cloretos

Relativamente à concentração de cloretos nas soluções, a análise estatística indicou diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) nos fatores “fase” e “solução”. No entanto a interação “fase*solução” também foi altamente significativa ($p \leq 0,001$) indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise.

Deste modo, apresenta-se na figura 12 os valores da concentração de cloretos para a interação “fase*solução”.

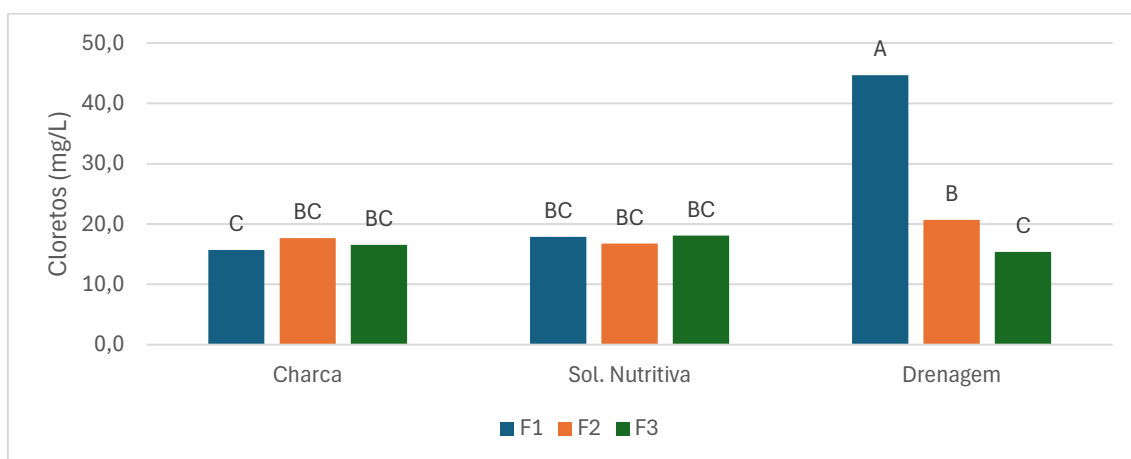


Figura 12 - Evolução dos cloretos na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Como observado no gráfico a concentração de cloretos na água da charca e na solução nutritiva mantêm-se estáveis durante todo o ciclo.

No caso da drenagem os valores da fase 1 são superiores, podendo ser explicados por uma acumulação de sais no substrato na campanha anterior e com o aumento do número de regas foram lixiviados, baixando as concentrações nas fases 2 e 3.

9.2.5. Sódio

A análise estatística dos dados obtidos indicou uma diferença não significativa ($p \leq 0,05$) das fases e um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) da “solução” na concentração de sódio. No entanto, a interação entre os dois fatores foi significativa ($p \leq 0,05$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise.

Na figura 13 o gráfico mostra os valores da concentração de sódio para a interação “fase*solução”.

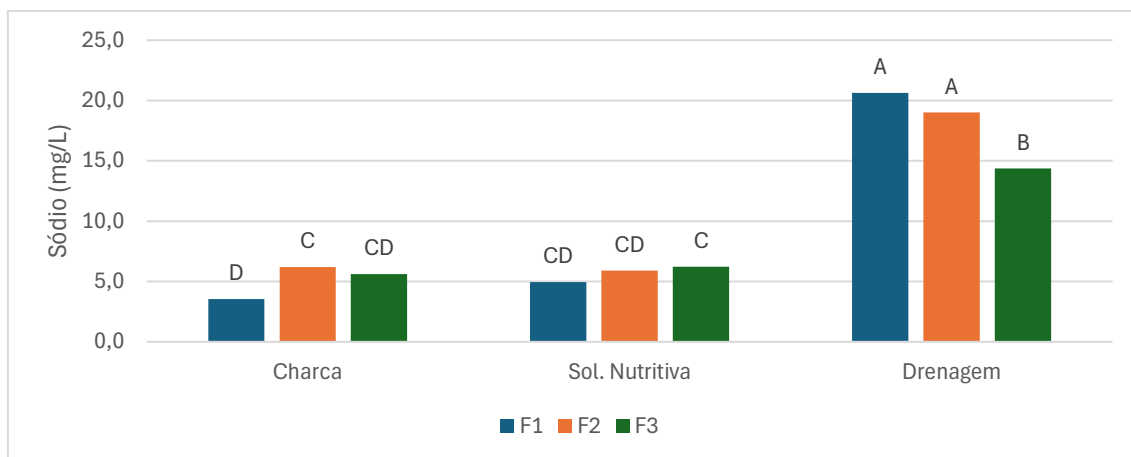


Figura 13 - Evolução do sódio na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Relativamente à concentração de sódio tanto na água da charca como na solução nutritiva apresentaram valores consistentemente baixos, sempre abaixo de 10 mg/L, sem sofrerem grandes oscilações. Quando observamos as concentrações de sódio na água de drenagem facilmente percebemos que são superiores, sendo que os maiores valores são relativos às fases 1 e 2. Tal como no caso dos cloretos também a elevada concentração de sódio no início pode estar relacionada com a concentração de sais no substrato derivados da campanha anterior.

Este é um critério importante para se controlar a concentração de sais no substrato e deste modo gerir as regas (Miranda *et al.*, 2004).

9.2.6. Azoto Amoniacal

A análise de variância dos dados obtidos indicou um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) em ambos os fatores, “fase” e “solução. Do mesmo modo, a interação entre os dois fatores foi altamente significativa ($p \leq 0,001$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise. Na figura 14, apresenta-se os valores de concentração do azoto amoniacal (N-NH_4^+) para a interação “fase * solução”.

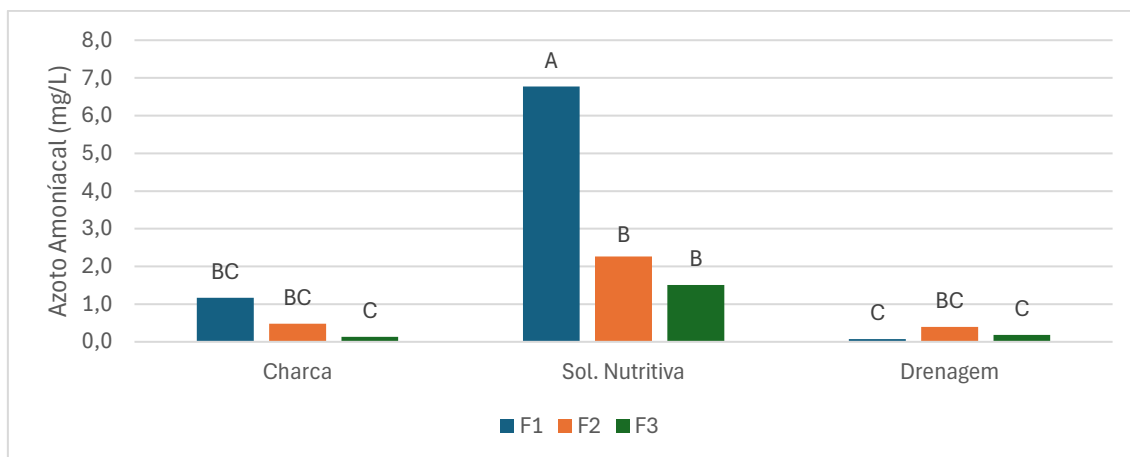


Figura 14 - Evolução do azoto amoniacal na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Podemos observar que os valores de concentração da drenagem são bastante menores, nas 3 fases, quando comparado com o fornecido pela solução nutritiva. O que segue a indicação das referências bibliográficas, que indicam, que o azoto amoniacal é absorvido na sua quase totalidade pelas plantas. Segundo Louro e Reis (2020), a absorção do ião amónio é muito rápida e pode ser utilizado diretamente pela planta, apresentando elevada taxa de absorção.

9.2.7. Azoto Nítrico

A análise de variância dos dados da concentração de azoto nítrico ($N-NO_3^-$) nas soluções indicou um efeito significativo ($p \leq 0,05$) da “fase do ciclo” e um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) da “solução”. A interação “fase*solução” é também significativa ($p \leq 0,05$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise. Na figura 15 apresenta-se os valores da concentração de azoto nítrico para a interação entre fatores.

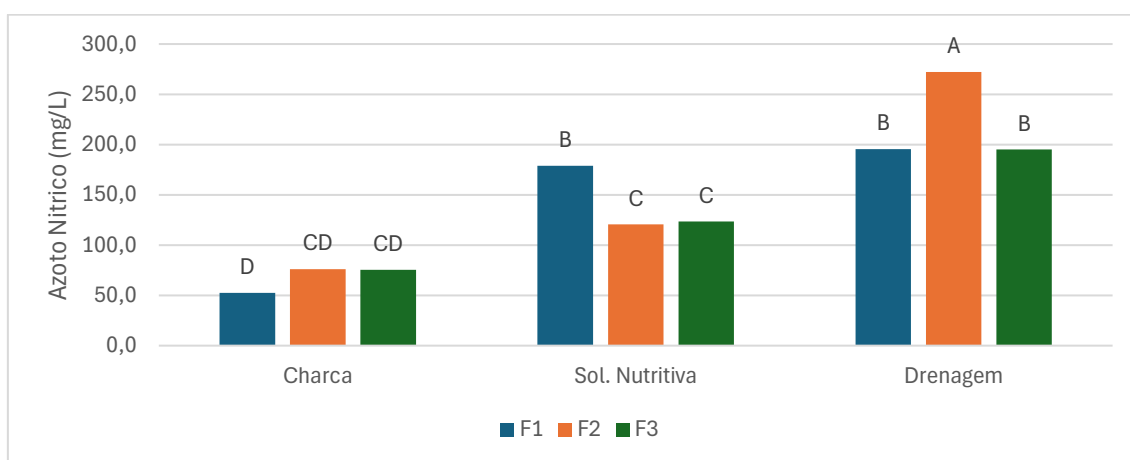


Figura 15 - Evolução do azoto nítrico na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Como seria de esperar, os valores de azoto nítrico na charca limpa são baixos devido a origem da água, aumentando ligeiramente ao longo do tempo, isto é, à medida que o volume de água na charca diminuía.

Ao observar a concentração na solução nutritiva percebemos as três fases, primeira fase correspondendo a altura de maior crescimento vegetativo, logo maiores necessidades deste nutriente, onde os valores de azoto nítrico são superiores e uma segunda e terceira fase, na altura de maturação dos frutos que vai até ao fim do ciclo da cultura, onde se baixou a concentração, devido a menor necessidade por parte da cultura (Louro & Reis, 2020).

Analisando a drenagem podemos observar que na fase 1 (fase de crescimento vegetativo), apesar de ser a fase de maior consumo do nutriente, tal como indicado por Silva (2017), apresenta uma concentração de drenagem média de 197,47 mg/L. Na fase 2, existe um aumento na concentração drenada, sugerindo que existe a lixiviação

do nutriente não absorvido pelas plantas. Por último, a fase três onde a concentração na drenagem baixa, devido a menor adição na solução nutritiva.

9.2.8. Fósforo

Relativamente à concentração de fósforo, a análise estatística indicou uma diferença significativa ($p > 0,05$) para a “fase” e diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) para a “solução”. A análise à interação “fase*solução” indicou diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre fatores. Os valores da concentração de fósforo para a interação são apresentados na figura 16.

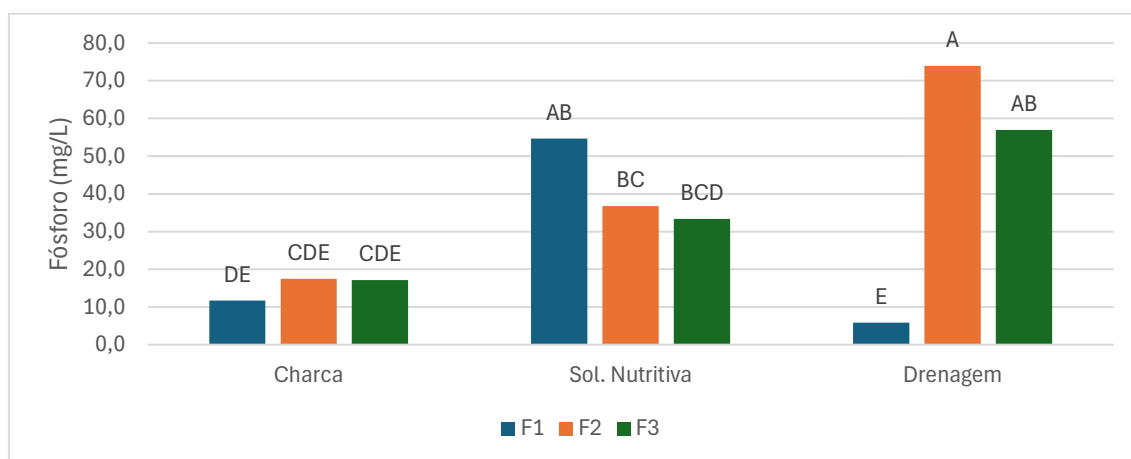


Figura 16 - Evolução do fósforo na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

O valor da concentração de fósforo na drenagem na fase 1 é muito reduzido, sendo em média de 5,84 mg/L, em comparação com a concentração na solução nutritiva de 54,59 mg/L. Podendo indicar que todo o fósforo fornecido à cultura é absorvido, podendo nesta fase ser necessário um incremento na concentração de fósforo na solução nutritiva a fornecer à cultura. Na fase 2 os valores são mais elevados, assim como na fase 3, não existindo diferenças significativas entre ambos.

A hipótese levantada vai de encontro ao determinado por Silva (2017), que refere ter verificado que o período de maior consumo do fósforo, foi na fase de desenvolvimento da parte aérea das plantas. Neste estudo a fase de crescimento das plantas corresponde a fase 1.

9.2.9. Cálcio

A análise de variância dos dados da concentração de cálcio nas soluções indicou um efeito significativo ($p \leq 0,05$) da “fase do ciclo” e um efeito altamente significativo ($p \leq 0,001$) da “solução”. Na interação “fase*solução” a diferença é significativa ($p \leq 0,05$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise. Na figura 17 apresenta-se os valores da concentração de cálcio para a interação entre fatores.

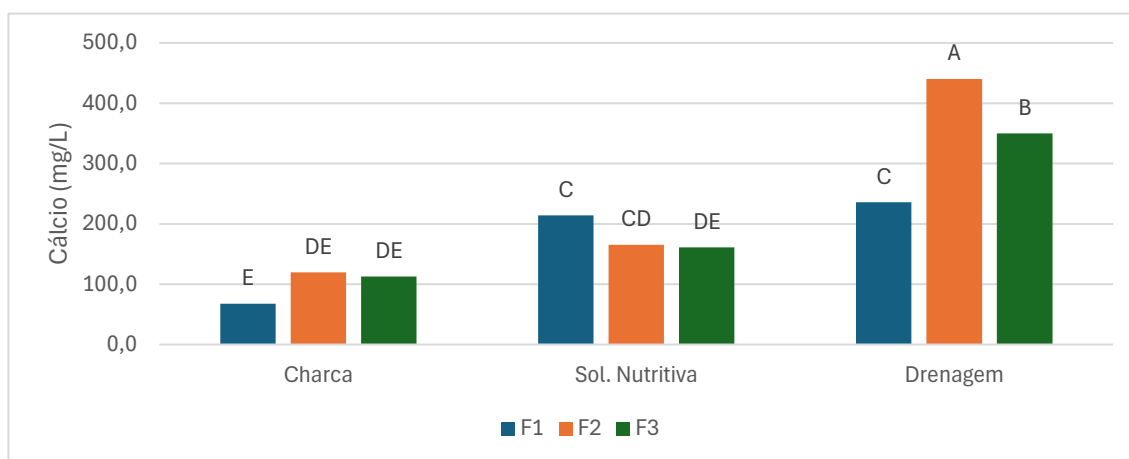


Figura 17 - Evolução do cálcio na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

O cálcio como elemento pouco móvel é um nutriente essencial no crescimento e divisão celular (Louro & Reis, 2020), onde a sua carência reduz a altura da planta e o número de folhas (Miranda *et al.*, 2004). Observando a concentração drenada mostrou ser um elemento com uma maior taxa de absorção durante a fase de crescimento da cultura (fase 1) em comparação com as fases de vingamento e maturação dos frutos. Uma vez que, a concentração na drenagem é significativamente menor na fase 1 quando comparado com as restantes.

9.2.10. Potássio

A análise estatística relativa à concentração de potássio, indicou diferenças não significativas ($p > 0,05$) entre “fases” e diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre “soluções”. Na interação “fase*solução” não são apresentadas diferenças significativas entre os fatores, pelo que indica que não existe interação entre fatores, logo os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente (K) é o mesmo, ou seja, não depende do nível do outro fator.

Observamos no quadro 7 que, para o fator “solução”, a drenagem apresenta os valores de concentração de potássio mais elevados, em média 421,58 mg/L, em comparação com a charca, que apresentou os valores mais baixo, de 105,95 mg/L. A solução nutritiva teve uma concentração média de 214,15 mg/L. Assim, verificou-se que a água de drenagem teve um aumento de concentração de potássio de 97%, em comparação com a solução nutritiva, e de 298% comparado com a charca.

A variação da concentração de potássio na água drenada parece estar mais relacionada com a variação da concentração da solução nutritiva do que com épocas de maiores necessidades nutricionais, uma vez que este nutriente se encontra em grande abundância na solução nutritiva ao longo de todo o ciclo cultural.

9.2.11. Magnésio

Relativamente à análise de variância da concentração de magnésio das soluções, a análise (quadro 7) indicou que não existe diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre “fases”, existindo diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre “soluções”. No entanto, a interação entre os dois fatores não é significativa, indicando que não há interação entre os fatores, isto é, os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente é o mesmo, independentemente do nível do outro fator.

Os dados indicam, para o fator “solução” que, a drenagem apresenta o valor mais elevado da concentração de magnésio, em média, 91,54 mg/L, com a charca a apresentar os valores mais baixos, 24,58 mg/L, e a solução nutritiva valores intermédios de 42,30 mg/L.

9.2.12. Enxofre

A análise de variância dos dados obtidos indicou uma diferença não significativa ($p \leq 0,05$) no fator “fase” e uma diferença altamente significativa ($p \leq 0,001$) para a “solução” para a concentração de enxofre. Na interação “fase*solução” os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente é o mesmo, independentemente do nível do outro fator, uma vez que não existe diferenças significativas ($p \leq 0,05$) na interação dos fatores.

Assim, no quadro 7, observamos que a solução com maior concentração de enxofre é a solução da charca, com média de 27,27 mg/L. Na solução drenada houve um aumento de 94 % em relativamente a água da charca.

Quadro 7 - Valores médios do potássio, magnésio e enxofre (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.

Fator	Potássio (mg/L)	Magnésio (mg/L)	Enxofre (mg/L)
Fase			
Fase 1	264.67 ^A	47.75 ^B	63.73 ^A
Fase 2	268.73 ^A	61.98 ^A	65.12 ^A
Fase 3	208.28 ^A	48.69 ^B	47.56 ^B
Significância	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>
Solução			
Charca	105.95 ^C	24.58 ^C	27.27 ^C
Sol. Nutritiva	214.15 ^B	42.30 ^B	52.97 ^B
Drenagem	421.58 ^A	91.54 ^A	96.16 ^A
Significância	***	***	***
Fase * Solução			
<u>Charca</u>			
Fase 1	77.71 ^E	15.46 ^D	19.52 ^D
Fase 2	131.24 ^E	31.52 ^{CD}	35.73 ^{CD}
Fase 3	108.90 ^E	26.76 ^{CD}	26.58 ^D
<u>Sol. Nutritiva</u>			
Fase 1	277.24 ^{CD}	45.88 ^C	62.07 ^{BC}
Fase 2	190.25 ^{DE}	43.04 ^C	55.21 ^{BC}
Fase 3	174.97 ^{DE}	37.97 ^{CD}	41.62 ^{CD}
<u>Drenagem</u>			
Fase 1	439.06 ^{AB}	81.92 ^B	109.59 ^A
Fase 2	484.71 ^A	111.38 ^A	104.43 ^A
Fase 3	340.97 ^{BC}	81.33 ^B	74.47 ^B
Significância	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>

Nota – Nível de significância pela ANOVA: n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo ($p \leq 0,05$); ** - muito significativo ($p \leq 0,01$); *** - altamente significativo ($p \leq 0,001$). Em cada coluna, para cada fator (fase e solução) e na interação, os valores com a mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste LSD ($\alpha = 0,05$).

9.2.13. Ferro

Relativamente à concentração de ferro das soluções, a análise estatística do dado indicou a existência de diferenças muito significativas ($p \leq 0,05$) no fator “fase” e diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$) entre soluções. A interação entre os dois fatores indicou diferenças altamente significativas ($p \leq 0,001$), mostrando que o efeito de um fator depende do nível do outro fator, sendo a interação de considerar. Na figura 18 apresenta-se os valores de concentração de ferro para a interação “fase*solução”.

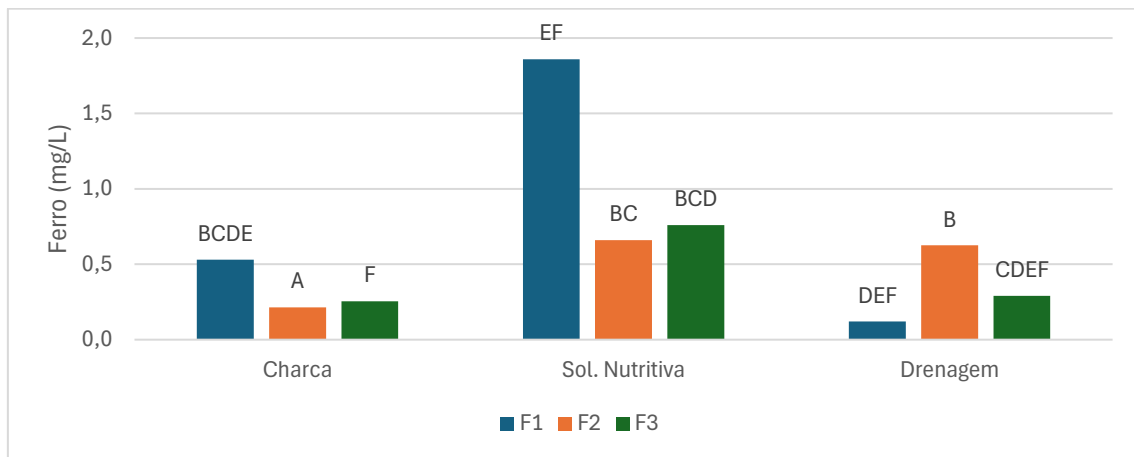


Figura 18 - Evolução do ferro na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha=0,05$).

Analisando os dados, e tendo em consideração que as concentrações são baixas em todas as soluções, observamos que uma concentração mais elevada na solução nutritiva na fase 1, não se refletiu na drenagem na mesma fase. No entanto o aumento da concentração na drenagem na fase 2 pode ter sido efeito do acúmulo de sais de ferro no substrato, que foram sendo lixiviados.

9.2.14. Manganês

A análise de variância dos dados obtidos indicou um efeito não significativo ($p > 0,05$) do fator “fase” e um efeito muito significativo ($p \leq 0,05$) da “solução”. No entanto, a interação entre os dois fatores é muito significativa ($p \leq 0,05$), indicando que o efeito de um fator é dependente do nível do outro fator, devendo assim considerar-se a interação na análise. Assim, apresenta-se na figura 19 os valores da concentração de manganês para a interação “fase*solução”.

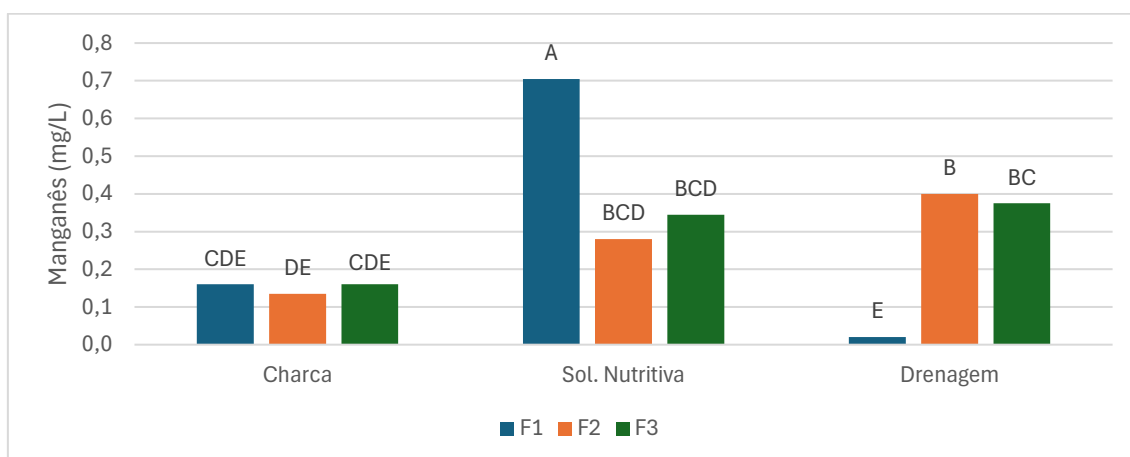


Figura 19 - Evolução do manganês na água da charca, da solução nutritiva e da drenagem, nas 3 fases do ciclo da cultura (F1, F2 e F3). Nota: colunas com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si (teste LSD para $\alpha = 0,05$).

No caso do manganês, e sendo ele um micronutriente também a sua concentração nas soluções é baixa. Observamos que, para a fase 1 existe uma diferença significativa entre os valores da solução nutritiva e da drenagem, podendo estar relacionado com uma fase de maior acúmulo ou ainda retenção por parte do substrato, tendo em conta a baixa concentração. A bibliografia indica que o maior consumo de manganês será representado pela parte aérea, logo o maior consumo dá-se durante o crescimento vegetativo (Silva, 2017).

9.2.15. Cobre

A análise de variância do dado, apresentada abaixo no quadro 8, indicou diferenças muito significativas ($p \leq 0,01$) entre fases e diferenças não significativas entre soluções ($p > 0,05$). A interação entre “fase” e “solução” não é significativa ($p > 0,05$), logo os fatores podem ser avaliados de modo independente, não existindo interação entre ambos.

Verificamos que, para o fator “fase”, existiu um aumento de 300% da concentração do cobre da fase 1 (13 mg/L) para a fase 2 (52 mg/L). Este aumento deveu-se a aplicação de 75 kg de sulfato de cobre na charca limpa, com o intuito de eliminar o desenvolvimento de algas na charca. Ao se alterar a concentração na água da charca, afetou-se diretamente a concentração de cobre da solução nutritiva, que aumentando consideravelmente, assim como na drenagem.

9.2.16. Zinco

Relativamente à concentração de zinco, a análise (quadro 8) indicou que existem diferenças muito significativas ($p \leq 0,01$) em ambos os fatores “fase” e “solução”. No entanto, a interação entre os dois fatores não apresenta diferenças significativas ($p > 0,05$) indicando que não há interação entre os fatores, isto é, os efeitos de cada fator podem ser avaliados independentemente, pois o efeito de um fator sobre a variável dependente (Zinco) é o mesmo, independentemente do nível do outro fator. Verifica-se para o fator “solução”, que a solução nutritiva apresenta uma concentração de zinco (0,04 mg/L) quatro vezes maior que a concentração da água da charca e da drenagem.

9.2.17. Boro

Por último, a análise dos dados (quadro 8) relativos ao boro mostrou que existem diferenças muito significativas ($p \leq 0,01$) entre “soluções” e não existem diferenças significativas entre “fases”. A interação entre “solução” e “fase” não é significativa ($p > 0,05$), evidenciando que não há interação entre fatores, podem ser avaliados de modo independente. No fator “fase” todas as três fases apresentam igual valor (0,07 mg/L), quando na “solução” a charca apresentou os valores mais baixo (0,04 mg/L) em comparação com a solução nutritiva que apresentou o maior valor (0,09 mg/L).

Quadro 8 - Valores médios do cobre, zinco e boro (mg/L) para cada solução (água da charca, solução nutritiva e drenagem), fase do ciclo (F1, F2 e F3) e para a interação entre os dois fatores.

Fator	Cobre (mg/L)	Zinco (mg/L)	Boro (mg/L)
Fase			
Fase 1	0.13 ^B	0.04 ^A	0.07 ^A
Fase 2	0.52 ^A	0.01 ^B	0.07 ^A
Fase 3	0.37 ^A	0.01 ^B	0.07 ^A
Significância	**	**	<u>n.s.</u>
Solução			
Charca	0.30 ^A	0.01 ^B	0.04 ^B
Sol. Nutritiva	0.36 ^A	0.04 ^A	0.09 ^A
Drenagem	0.37 ^A	0.01 ^B	0.08 ^A
Significância	<u>n.s.</u>	**	**
Fase * Solução			
<u>Charca</u>			
Fase 1	0.03 ^C	0.03 ^B	0.045 ^C
Fase 2	0.51 ^A	0.00 ^C	0.045 ^C
Fase 3	0.35 ^{ABC}	0.00 ^C	0.045 ^C
<u>Sol. Nutritiva</u>			
Fase 1	0.08 ^{BC}	0.06 ^A	0.11 ^A
Fase 2	0.62 ^A	0.02 ^{BC}	0.07 ^{ABC}
Fase 3	0.62 ^A	0.03 ^B	0.08 ^{ABC}
<u>Drenagem</u>			
Fase 1	0.29 ^{ABC}	0.02 ^{BC}	0.05 ^{BC}
Fase 2	0.43 ^A	0.01 ^{BC}	0.10 ^A
Fase 3	0.39 ^A	0.01 ^{BC}	0.09 ^{AB}
Significância	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>	<u>n.s.</u>

Nota: Nível de significância pelo teste ANOVA múltipla: n.s. - não significativo ($p > 0,05$); * - significativo ($p \leq 0,05$); ** - muito significativo ($p \leq 0,01$); *** - altamente significativo ($p \leq 0,001$). Em cada coluna valores com a mesma letra não são significativamente diferentes entre si. Teste LSD com 95% de confiança ($p < 0,05$).

9.2.18. Observações

Na charca que recebe apenas água da chuva, à medida que o volume da água diminui observou-se uma tendência geral de aumento da concentração de nutrientes (exceto no caso do potássio e dos micros), que pode ser explicado pela estratificação e densidade, mostrando que apesar desta charca ser apenas água da chuva a sua composição pode sofrer variações ao longo do tempo (CAP *et al.*, 2022).

O aumento da concentração de enxofre, cobre e respetiva condutividade elétrica, na fase 2, é explicada pela adição de sulfato de cobre à charca na tentativa de eliminar as algas que se desenvolveram durante o mês de agosto.

Este aumento da concentração na charca limpa, principalmente do cobre, levou ao aumento da concentração na solução nutritiva. Reforçando que se deve ter atenção aos produtos colocados nas charcas, mesmo em pequenas quantidades podem ter graves consequência nas plantas, podendo em caso extremo levar a uma fitotoxicidade ou senescência das mesmas.

De modo geral, observamos que a concentração de nutrientes é sempre mais elevada na solução drenada do que na solução nutritiva, indo de acordo com os valores de CE superiores na drenagem.

9.3. Quantificação Económica da Solução Nutritiva

9.3.1. Volume de água de rega e da drenagem

Os valores de volume de rega e drenagem foram obtidos com base na monitorização semanal dos volumes debitados por gotejador e recolhidos nos sacos de cultivo, conforme descrito no ponto 8.5 e 8.6. O cálculo da percentagem de drenagem foi feito segundo a fórmula apresentada naqueles pontos.

O quadro 9 representa o volume de água de rega (solução nutritiva) e o volume da água drenada (solução drenada), durante os quatro meses do ciclo cultural, detalhado nos intervalos de tempo entre a data de recolha de cada amostra. Apresenta ainda a percentagem de drenagem para cada data.

Quadro 9 - Volumes de solução nutritiva e solução drenada (m³) e drenagem (%)

Intervalo entre amostragens		Solução Nutritiva (m ³)	Solução drenada (m ³)	Drenagem (%)
07/07/2024	24/07/2024	405	68	17
24/07/2024	08/08/2024	402	83	21
08/08/2024	29/08/2024	588	267	45
29/08/2024	17/09/2024	673	220	33
17/09/2024	09/10/2024	1113	284	25
09/10/2024	24/10/2024	323	51	16
Total		3 503	972	28

Como observado no quadro acima, a cultura necessitou de uma dotação hídrica de 3 500 m³, valor inferior às necessidades hídricas para a cultura do tomate em solo, que varia de 4 000 a 6 000 m³.

Observa-se ainda que 28% do volume de água fornecido a cultura foi drenada, cerca de 970 m³. O que no caso de ser reintroduzida no sistema, baixaria ainda mais a necessidade de água, tornando o cultivo mais eficiente do ponto de vista hídrico.

Em teoria, no caso de um sistema fechado, o volume de água consumido durante todo o ciclo aproximar-se-ia dos 2 500 m³/ha, uma vez que a solução drenada seria reaproveitada. Mostrando toda a potencialidade e eficiência dos sistemas em substrato.

A percentagem de drenagem vai de acordo com o recomendado, no entanto surgem questões quanto à possibilidade de reduzir a percentagem de drenagem, reduzindo assim a água consumida e a quantidade de adubo necessária.

9.3.2. Quantificação dos Nutrientes

Um dos principais pontos de interesse deste estudo era perceber qual o potencial de redução da adubação, por via do reaproveitamento da solução drenada. Uma vez que a solução drenada contém uma elevada concentração de nutriente que podem, e devem, ser reaproveitados. Como tal, de modo a perceber esta potencialidade foi necessário quantificar quais os nutrientes presentes tanto na solução nutritiva como na solução drenada, e em que quantidades.

Sabendo o volume de água e a concentração foi calculado a quantidade de cada nutriente presente na solução nutritiva e na solução drenada, valores apresentados no anexo I. As percentagens de drenagem dos nutrientes analisados são apresentadas nos quadros 10 e 11.

Quadro 10 - Percentagem de macronutrientes drenados

Percentagem de Macronutrientes Drenados								
Intervalo entre amostragens		N-NH4	N-NO3	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4
07/07/2024	24/07/2024	0	16	0	24	19	29	31
24/07/2024	08/08/2024	0	26	4	36	22	37	35
08/08/2024	29/08/2024	6	74	52	77	82	82	61
29/08/2024	17/09/2024	15	117	146	171	148	147	107
17/09/2024	09/10/2024	1	35	39	46	52	53	42
09/10/2024	24/10/2024	4	29	30	33	36	35	30
Total		2	47	40	58	59	65	51

Quadro 11 - Percentagem de micronutrientes drenados

Percentagem de Micronutrientes Drenados						
Intervalo entre amostragens		Fe	Cu	Zn	Mn	B
07/07/2024	24/07/2024	1,11	39,92	2,10	0,21	5,60
24/07/2024	08/08/2024	1,28	111,41	10,26	0,99	12,31
08/08/2024	29/08/2024	19,81	19,37	22,68	29,87	36,29
29/08/2024	17/09/2024	63,35	45,30	32,77	115,78	98,31
17/09/2024	09/10/2024	7,24	25,49	6,37	24,12	25,49
09/10/2024	24/10/2024	7,80	15,81	7,91	19,77	22,59
Total		11	28	9	22	29

Nota: Assumiu-se, para efeitos de cálculo, que os nutrientes não detetados na drenagem foram efetivamente absorvidos pelas plantas. Embora parte possa ter sido retida no substrato, esta simplificação permite uma estimativa conservadora do aproveitamento dos nutrientes, facilitando a análise económica.

Como seria de esperar os nutrientes presentes em maior concentração na solução nutritiva são o cálcio e potássio, seguindo-se o azoto nítrico, o mesmo acontece na solução drenada. No entanto cada nutriente apresenta uma percentagem de drenagem distinta entre si e variável ao longo do ciclo cultural, que depende da concentração na solução nutritiva, mas principalmente da taxa de absorção das plantas, que varia com o estado fenológico e com as condições climáticas.

Como indicado pela bibliografia o azoto amoniacal é absorvido na sua quase totalidade (Louro & Reis, 2020), sendo a drenagem de apenas 2% neste estudo. Já o azoto nítrico apresenta uma percentagem de drenagem na ordem dos 47%.

O fósforo apresenta uma percentagem de drenagem de 40%, no entanto convém salientar que no início do ciclo cultural a concentração na drenagem era quase zero, indicando uma deficiência inicial deste nutriente na solução nutritiva.

No caso do potássio e do cálcio ambos apresentam valores de drenagem idênticos, perto dos 60%, valor bastante elevado, que sugere um excesso na solução nutritiva a ser repensado.

O magnésio é o nutriente que maior drenagem apresenta, 65%, revelando uma fertilização em demasia. Quando verificamos que o enxofre tem uma drenagem de 51%, percebemos que seria perfeitamente plausível a redução da adubação com sulfato de magnésio, mostrando que o ajuste da fertilização pode ser feito.

No caso dos micronutrientes todos apresentam uma drenagem inferior a 30%.

Estes resultados mostram que nem sempre um maior fornecimento de nutriente à cultura se reflete numa maior absorção das plantas, visto que a concentração de nutrientes na solução drenada aumentou com o aumento da concentração na solução nutritiva, levando a considerar ocorrerem maiores desperdícios.

Seria importante ter a possibilidade de avaliar de forma constante e diária a variação entre a concentração da solução nutritiva e a percentagem de nutrientes drenados, permitindo ajustes regulares na formulação.

Um ponto de partida para a redução da adubação seria o ajuste da percentagem de nutrientes drenados, otimizando a absorção e reduzindo a adubação de alguns nutrientes em certos momentos do ciclo cultural, para isto pode optar-se por reduzir a CE da solução nutritiva ou baixar a percentagem de drenagem.

9.3.3. Viabilidade económica

A viabilidade económica é um fator essencial para a sustentabilidade da exploração, como tal foi quantificado o impacto económico que o reaproveitamento da solução drenada teria do ponto de vista da reutilização dos nutrientes.

Calculou-se o custo dos adubos utilizados na fertirrega e extrapolou-se o valor dos nutrientes drenados, dispensando-se os micros por terem formulações muito específicas e variáveis. Na fertirrega foram utilizados os adubos representados no quadro 12, os valores de custo por saca foram recolhidos na Louricoop, CRL.

A adubação teve um custo total de 5 452 euros por hectare, valor este de encontro com o apresentado por Saraiva *et al.* (2022).

O nitrato de cálcio foi o adubo utilizado em maior quantidade, representado quase metade do custo da adubação.

Extrapolou-se a quantidade de adubo drenado e calculou-se que o seu valor correspondia a cerca de 2 300 euros (quadro 13).

Quadro 12 - Quantidade de adubos injetados na solução nutritiva e custo total (€)

Adubo	Nº de sacas de 25kg	Preço (€) por Saca de 25 kg	Custo (€)
Fosfato Monopotássio	25	59,8	1495
Sulfato de Magnésio	66	13	858
Nitrato de Cálcio	128	16,56	2120
Nitrato de Potássio	33	29,69	980
		Total	5452

Quadro 13 - Quantidade de adubos presente na solução drenada e custo total (€)

Adubo	Nº de sacas de 25kg	Preço (€) por Saca de 25 kg	Custo (€)
Fosfato Monopotássio	10	59,8	598
Sulfato de Magnésio	37	13	481
Nitrato de Cálcio	67	16,56	1110
Nitrato de Potássio	5	29,69	148
		Total	2337

Deste modo facilmente percebemos que a reintrodução da solução drenada tem um valor económico extremamente importante, possibilitando uma poupança estimada em 43%, quando se considera apenas o valor dos nutrientes drenados.

Pensando na dimensão total da exploração, 20 ha, e tendo por base estes valores, são gastos cerca de 109 mil euros em adubação numa campanha de tomate. Ora se for possível aproveitar os nutrientes drenados, estamos a falar de uma poupança de 47 mil euros. A redução de custo é sempre benéfica para a exploração, são valores avultados que podem alterar as contas de cultura significativamente.

10. Conclusão

Este estudo demonstrou que a reutilização da água da drenada no cultivo de tomate em substrato de fibra de coco é uma estratégia importante, tanto do ponto de vista económico como ambiental. A análise química revelou que a solução drenada contém uma quantidade significativa de nutrientes, o que justifica o interesse na sua reintrodução, permitindo reduzir a necessidade de adubação. Além disso, a reintrodução da solução drenada contribui para uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, reduzindo o consumo de água e os impactos ambientais associados ao seu descarte.

No entanto, os desafios relacionados com a presença de microrganismos nocivos na solução drenada ainda limitam a adoção generalizada desta técnica. A implementação de um sistema de desinfecção eficaz mostrou ser o principal desafio à adoção desta prática, devido à necessidade de eliminar agentes fitopatogénicos sem comprometer a qualidade da solução nutritiva. Os resultados mostraram que a aplicação de ozono, isoladamente, não garantiu a eliminação de agentes fitopatogénicos como *Fusarium spp.* e *Pythium spp.*, o que reforça a necessidade de associar métodos complementares para melhorar a eficácia da desinfecção e garantir a segurança fitossanitária. É importante a realização de ensaios neste âmbito e a divulgação junto dos produtores das técnicas adequadas.

Outro ponto crítico para a implementação desta prática é a monitorização e ajuste da solução nutritiva. Atualmente, os produtores baseiam-se apenas na condutividade elétrica (CE) para avaliar a composição da solução nutritiva, mas esta variável apenas reflete a concentração total de sais dissolvidos na água, sem fornecer informações detalhadas sobre a disponibilidade individual de cada nutriente. Essa limitação impede ajustes precisos, comprometendo a eficiência do sistema e o equilíbrio nutricional da cultura.

A leitura regular da concentração de cada nutriente na solução nutritiva e na solução drenada permite realizar ajustes mais precisos com base na percentagem de absorção dos nutrientes pelas plantas, garantindo um fornecimento adequado ao longo das diferentes fases do ciclo cultural. A reposição automatizada de nutrientes específicos, em vez da simples reposição de água e fertilizantes com base na CE da água de rega,

evita tanto carências como excessos, melhorando a absorção dos nutrientes e a produtividade da cultura.

Para que esta abordagem seja viável, torna-se essencial o desenvolvimento de sensores avançados capazes de medir continuamente e de forma instantânea a concentração individual de cada nutriente. No entanto, essa tecnologia ainda não está disponível comercialmente, principalmente devido a desafios relacionados com a calibração frequente dos sensores e os custos elevados. A criação de sensores mais estáveis e precisos permitirá a automatização da reintrodução da solução drenada na fertirrigação, garantindo um fornecimento nutricional ajustado às necessidades da cultura em cada fase do ciclo.

Do ponto de vista económico, a reutilização da solução drenada pode representar uma redução significativa dos custos de fertilização (2 300€/ha/campanha) e do consumo de água (menos 1 000 m³/ha/campanha), garantindo maior eficiência no uso dos fatores de produção. Embora o investimento inicial num sistema de desinfecção seja elevado, os cálculos indicam que o retorno financeiro pode ser alcançado num curto prazo.

Finalmente, a evolução da legislação ambiental poderá, no futuro, tornar obrigatória a reciclagem da drenagem na produção agrícola, tornando esta solução não apenas vantajosa, mas essencial para a sustentabilidade do setor.

Assim, conclui-se que a adoção de sistemas de reaproveitamento da água de drenagem são uma estratégia promissora para a horticultura protegida, contribuindo para a eficiência produtiva, para a redução do impacto ambiental e o aumento da competitividade do setor. A possibilidade de grandes poupanças hídrica é um dos fatores chave para o crescimento das áreas produtivas, numa região onde a escassez de água tem-se mostrado uma dificuldade. A nível económico, mostrou ser possível reduzir para metade os custos com a fertilização.

No entanto, são necessários estudos adicionais sobre métodos de desinfecção mais eficazes e a compatibilidade das soluções drenadas com diferentes formulações nutritivas, de forma a permitir a sua implementação em larga escala.

11. Referências Bibliográficas

Agrios, G.N. 1997. *Plant pathology*. 4th Ed., Academic Press, USA, 635 pp

Almeida, D. (2006). *Manual de Culturas Hortícolas – Volume II*. 1ª edição, Lisboa: Editorial Presença, 325 pp.

Almeida, D. P. F., & Reis, M. M. F. (2017). *Engenharia Hortícola*. Publindústria, Porto. 1–252 pp.

Alvarenga, M.A.R. (2004) *Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidropônica*. Exigências Climáticas. In: ALVARENGA, M.A.R. (editor). Lavras: Editora UFLA, 36 pp.

Baptista, Fatima, 2018. *Balanço Térmico de Estufas*. Texto de apoio às aulas de Condicionamento Ambiental e de Projectos de Engenharia Agronómica. 13 pp.

CAP, ADVID, GPP,LPN & SPEA (2022). *Charcas e Pequenas Barragens*. Folheto informativo cofinanciado pelo PDR2020. 8 pp.

Costa, J.M., Heuvelink, E. (2005). *Introduction: the tomato crop and industry*. In Heuvelink, E., *Tomatoes*. Cambridge: CABI publishing.

Dam, B.V., Goffau, M., Hilmi M., Jeude, J., Naika, S. (2006). *A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização*. Wageningen: Fundação Agromisa e CTA, 104 pp.

Ferreira, V. S. (2017) *A cultura do tomate em estufa Avaliação das condições climáticas em dois tipos de estufa e sua influência na produtividade e nos custos de produção do tomate, na região do Oeste*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. 53 pp.

Gavilan, M.U. (2000) *Manual de cultivo sin solo*. Ed.Mundi-Prensa. Almeria, Espanha

IFA – International Fertilizer Association. (2021). *Fertilizer Conversion Tables*. Paris: IFA.

Jesus, J., Martins, G., Saraiva, R., Grego, J. & Oliveira, M. (2020). *Inovação de Produto e de Processo no tomate de estufa: Monitorização em tempo real de parâmetros agronómicos*. Revista da UI_IPSantarém. Edição Temática: Ciências Naturais e do Ambiente. 8(3), 49-59. <https://revistas.rcaap.pt/uiips/>
https://www.dgav.pt/wp-content/uploads/2023/03/DGAV_CNV_2023_f.pdf (variedades de tomate, consultado a dia 30/11/2024)

Louro, M. & Reis, M. (2020) *Manual de Cultivo Sem Solo: Aspetos teóricos e práticos dos cultivos hidropónicos e em substrato*. Porto: Quântica Editora – Conteúdos Especializados, Lda. 417 pp.

Monteiro, A.A. (1994) *Outlook on the growing techniques of greenhouse Solanaceae in MildWinter climates*. Acta Horticulturae, 366. 21-32 pp.

Mota, P. (2007). *Acompanhamento da cultura do tomate em substrato de lã de rocha*. Beja

Miranda, C.S., Henriques, S., Rodrigues, L., Rodrigues, A. S., Monteiro, A. A., Reis, M., Caço, J. & Eirinhas, L. (2004). *Manual de Culturas Hortícolas Sem Solo*. Associação Interprofissional de Horticultura do Oeste. Soartes - artes gráficas, lda, 150 pp.

Cadenas, F., González, J., Hernández, M. (2003). *El cultivo protegido del tomate*. Em: *Camacho, F. (eds.). Técnicas de Producción de Frutas y Hortalizas en Los Cultivos Protegidos II*. Caja Rural de Almería. Almeria, Espanha.

Prieto Martinez, H. E., Lana Braccini, M. C., Lucca, A. & Braccini (1997). *CULTIVO HIDROPÔNICO DO TOMATEIRO (Lycopersicon esculentum Mill.)*. Revista UNIMAR 19(3):721-740, (1997)

Rosa, A., Reis, M., Caço, J. (2006). *Cultura sem solo com reciclagem da drenagem*. Frutas, Legumes e Flores 24: 48-51

Ribeiro, D., Ribeiro, H., Louro, V., 2001. *Produção em Viveiros Florestais*. Direção Geral de Desenvolvimento Rural, Lisboa, Portugal. 149 pp.

Santos, J. F. A. (2021) *Análise de crescimento e exportação de nutrientes da cultura do tomate enxertado produzido em sistema de cultivo sem solo na região Oeste*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa. 74 pp.

Santos, M. G., Roncon, I., Pereira, R., & Susana, M.P. (2019) *Caracterização da gestão da fertirrega e aplicação de produtos fitofarmacêuticos em culturas sem solo em Portugal*. APH: I Congresso Luso-Brasileiro de Horticultura | Sessão Outras.

Saraiva, R., Dias, I., Marques, A., Martins, G., Grego, J., Ferreira, L., Lopes, M., Godinho, M., Ferreira, S., Gouveia, R., Rodrigues, S., Firmino, J., Maria, P. & Oliveira, M. (2022) *Manual Técnico TOMATINOV*. Torres Vedras: Overprint. 36 pp

Silva, B. (2017) *Acúmulo de nutrientes ao longo do ciclo por tomateiros do grupo salada*. Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Agricultura Tropical e Subtropical. São Paulo: Instituto Agronômico. 52 pp.

Wilfried, B., Remi, N. W., Nebambi, L., Alison, H., Nicolás, C., Cherubino, L., & Muien, Q. (2013). *Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: principles for mediterranean climate areas*. FAO, Rome. 169-202 pp.

Webgrafia

<https://www.jornaldenegocios.pt/empresas/detalhe/agricultores-algarvios-pagam-o-dobro-pela-agua-usada-para-regar> Consultado em dezembro, 2024

<https://www.groho.pt/post/o-que-e-a-hidroponia> Consultado em dezembro, 2024

<https://www.fao.org/plant-production-protection/news-and-events/news/news-detail/growing-without-soil--hydroponics-fundamentals--pros-and-cons/en> Consultado em dezembro, 2024

12. Anexo I

Quadro 14 - Quantificação de macronutrientes na solução nutritiva

Quantificação de macronutriente na Solução Nutritiva (kg)									
Intervalo entre amostragens		CE (mS/cm)	N-NH4	N-NO3	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4
07/07/2024	24/07/2024	2,49	2,44	77	45	96	109	28	69
24/07/2024	08/08/2024	2,64	3,02	67	56	90	133	34	81
08/08/2024	29/08/2024	2,71	2,29	96	73	140	186	60	139
29/08/2024	17/09/2024	1,05	0,42	52	29	52	99	28	64
17/09/2024	09/10/2024	1,82	2,00	151	88	163	253	71	141
09/10/2024	24/10/2024	1,81	0,39	36	24	46	72	20	40
Total		2,09	10,56	479	316	587	852	240	534

Quadro 15 - Quantificação de micronutrientes na solução nutritiva

Quantificação de micronutriente na Solução Nutritiva (kg)						
Intervalo entre amostragens		Fe	Cu	Zn	Mn	B
07/07/2024	24/07/2024	0,79	0,03	0,03	0,32	0,05
24/07/2024	08/08/2024	0,71	0,03	0,02	0,25	0,04
08/08/2024	29/08/2024	0,51	0,52	0,01	0,24	0,06
29/08/2024	17/09/2024	0,30	0,23	0,01	0,10	0,03
17/09/2024	09/10/2024	0,90	0,40	0,04	0,41	0,09
09/10/2024	24/10/2024	0,23	0,13	0,01	0,10	0,02
Total		3,4	1,3	0,1	1,4	0,3

Quadro 16 - Quantificação de macronutrientes na solução drenada

Quantificação de macronutriente na Solução Drenada (kg)									
Intervalo entre amostragens		CE (mS/cm)	N-NH4	N-NO3	P2O5	K2O	CaO	MgO	SO4
07/07/2024	24/07/2024	3,28	0,01	12	0	23	20	8	21
24/07/2024	08/08/2024	3,85	0,00	17	2	33	30	13	28
08/08/2024	29/08/2024	4,71	0,14	71	38	107	152	49	84
29/08/2024	17/09/2024	5,09	0,06	61	43	89	146	41	69
17/09/2024	09/10/2024	3,52	0,01	53	35	75	132	38	60
09/10/2024	24/10/2024	3,86	0,02	10	7	15	26	7	12
Total		4,05	0,24	226	125	341	507	156	274

Quadro 17 - Quantificação de micronutrientes na solução drenada

Quantificação de micronutriente na Solução Drenada (kg)						
Intervalo entre amostragens		Fe	Cu	Zn	Mn	B
07/07/2024	24/07/2024	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
24/07/2024	08/08/2024	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
08/08/2024	29/08/2024	0,10	0,10	0,00	0,07	0,02
29/08/2024	17/09/2024	0,19	0,10	0,00	0,12	0,03
17/09/2024	09/10/2024	0,07	0,10	0,00	0,10	0,02
09/10/2024	24/10/2024	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01
Total		0,39	0,37	0,01	0,31	0,08