

Utilização de subprodutos da indústria do azeite para produção sustentável de alfaces

Versão final após defesa

Margarida Dias Alves de Oliveira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Biotecnologia
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof. Doutora Maria de Fátima Nunes de Carvalho,
Instituto Politécnico de Beja
Coorientadora: Prof. Doutora Ana Maria Carreira Lopes

dezembro de 2023

Declaração de Integridade

Eu, Margarida Dias Alves de Oliveira, que abaixo assino, estudante com o número de inscrição M10827 do Mestrado em Biotecnologia da Faculdade de Ciências, declaro ter desenvolvido o presente trabalho e elaborado o presente texto em total consonância com o **Código de Integridades da Universidade da Beira Interior**.

Mais concretamente afirmo não ter incorrido em qualquer das variedades de Fraude Académica, e que aqui declaro conhecer, que em particular atendi à exigida referenciação de frases, extratos, imagens e outras formas de trabalho intelectual, e assumindo assim na íntegra as responsabilidades da autoria.

Universidade da Beira Interior, Covilhã 09/10/2023



Margarida Dias Alves de Oliveira



Esta Dissertação de Mestrado foi integrada no âmbito do projeto NETA – Novas Estratégias no Tratamento de Águas-residuais (POCI-01-0247-FEDER-046959), financiado pelo programa PORTUGAL 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER).



Dedicatória

Ao Avô Dato.

Deste-me a conhecer o campo e mostraste-me como das tuas azeitonas se faz azeite. Espero que, no Céu, estejas sentado à sombra de uma oliveira, orgulhoso de mim. Lembrar-me-ei sempre das tuas palavras sábias.

Agradecimentos

A concretização desta etapa não teria sido possível sem a ajuda de todos os que caminharam comigo e me deram a mão, ou um copinho de bagaço com mel, ao longo do meu percurso.

Agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Fátima Carvalho, por me ter recebido e acolhido na sua instituição, Instituto Politécnico de Beja, como se dela eu sempre tivesse feito parte. Por me ter enriquecido com os seus conhecimentos e feito despertar em mim curiosidade e desejo de aventura.

Agradeço à minha coorientadora, Professora Doutora Ana Lopes, por ter acreditado em mim e por ter estado sempre (mesmo sempre!) disponível para me ajudar, mesmo que à distância.

Agradeço à Alexandra, sabendo que não existe um “obrigada” grande o suficiente para expressar a gratidão que tenho para com ela. Por me ter ensinado e encaminhado ao longo deste percurso. Por ter estado ao meu lado todos os dias. Sem ela, as alfacinhas não teriam sido tão felizes e bem-sucedidas! Nem eu!

Agradeço ao Lagar de Vale de Vargo, por ter disponibilizado a água ruça e os caroços de azeitona, em especial ao Engenheiro Manuel Godinho, que foi incansável.

Agradeço ao Pedro que, sendo o único homem no meio de tantas mulheres, esteve sempre pronto a dar uma “mãozinha” quando era preciso maior força física. Por partilhar o seu conhecimento comigo e zelar pelo sucesso do meu trabalho.

Agradeço à D. Ivone, enciclopédia à antiga. Por me ensinar, explicar e acudir quando estive menos certa daquilo que devia fazer no laboratório. Pela sua generosidade e por partilhar comigo os seus apontamentos e ensinamentos de uma vida inteira.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e ao meu irmão, que acompanharam este percurso como sendo deles. Pelas oportunidades que me proporcionaram. Por me terem dado asas e deixado voar, sempre. Por terem feito *babysitting* às alfacinhas num sábado ou outro. Obrigada por contribuírem para que seja a filha e irmã feliz que sou.

Agradeço ao Bruno, pelo apoio, paciência e amor. Por me dar força e fazer acreditar que sou capaz de tudo aquilo que eu quiser.

Agradeço aos meus amigos. À Ana, Amiga há 23 anos, sempre presente, até a 7823 quilómetros de distância. Aos amigos que Biocologia juntou, em especial à Babi, à Carolina, à Daniela, ao Daniel, ao Formiga, ao Manu e ao Navarro. Sem eles este percurso teria sido uma seca.

Por último, mas não menos importante, agradeço à Universidade da Beira Interior e à Covilhã, instituição e cidade que se tornaram Casa e pelas quais terei para sempre um carinho muito especial.

Aqui fui feliz!

Resumo

Anualmente, na zona do Mediterrâneo, resultam da produção de azeite 30 milhões de m³ de águas ruças. Uma vez que ainda não existe um método eficiente e seguro para o tratamento ou reutilização deste efluente, a problemática das águas ruças tem sido uma preocupação para a indústria, pela poluição a que dão origem, devido à elevada carga orgânica, ao teor em compostos fenólicos e à sua baixa biodegradabilidade. Apesar do risco de poluição para o meio ambiente, estas águas são ricas em nutrientes, algo que pode ser uma mais-valia se aproveitado após o seu tratamento.

Para combater este problema, este trabalho teve como objetivo a otimização do tratamento de águas ruças por precipitação química básica (IOSLP – *Immediate One-step Lime Precipitation*), com ajuste de pH e suplementação, visando a sua reutilização como meio de alimentação no cultivo de alfaces em sistema hidropónico.

Sendo a hidroponia uma técnica de cultivo alternativa à tradicional, que promove um crescimento mais rápido, maior produtividade, maior eficiência de rega e menor necessidade de utilização de pesticidas, é considerada uma forma de cultivo mais eficiente e sustentável. Neste caso, para além da água utilizada no cultivo ser proveniente da indústria do azeite, também o enchimento do sistema hidropónico teve a mesma origem, visando dar uma nova vida aos caroços das azeitonas que são descartados na maioria dos lagares.

Após conclusão dos ensaios experimentais, o tratamento da água ruça proporcionou taxas de remoção de 85,7% em SST, 88,2% em CQO, 92,4% em CBO₅, 76,6% em compostos fenólicos e 99,9% em turvação. O sistema hidropónico permitiu obter alfaces com uma taxa de sobrevivência de 100%, sendo que as classificações do perfil sensorial foram semelhantes entre ensaios.

Esta técnica de tratamento de águas ruças, bem como a sua reutilização num sistema de cultivo de alfaces com caroços de azeitona como matriz de suporte, permite à indústria do azeite uma alternativa sustentável, contribuindo para uma economia circular.

Palavras-chave

Águas ruças; IOSLP; Hidroponia; Alfaces; Economia circular.

Abstract

In the Mediterranean area, each year the olive oil production results in 30 million m³ of olive mill wastewater (OMW). Since there is currently no efficient and safe method for treating or reusing this effluent, the problem of OMW has been a concern for the industry, due to the pollution it causes, mainly due to the high organic load, the content in phenolic compounds and its low biodegradability. Despite the risk of pollution to the environment, these wastewaters are rich in nutrients, a fact that can be of great added value if used after its treatment.

To fight this problem, this work aims to optimize the treatment of OMW by basic chemical precipitation (IOSLP – Immediate One-step Lime Precipitation), with pH adjustment and supplementation, aiming at its reinsertion into the environment, using it as a nutrient solution in the cultivation of lettuce in a hydroponic system.

Since hydroponics is an alternative cultivation technique to the traditional one, which promotes faster growth, higher productivity, greater irrigation efficiency and less need for the use of pesticides, it is considered a more efficient and sustainable form of cultivation. In this case, in addition to the fact that the water used in irrigation comes from the olive oil industry, the system's supporting medium also had the same origin, aiming to give new life to the olive stones that are discarded in most mills.

At the end of the experimental assay, the treatment of OMW provided removal rates of 85.7% in TSS, 88.2% in COD, 92.4% in BOD₅, 76.6% in phenolic compounds and 99.9% in turbidity. The lettuces obtained in the hydroponic system had a survival rate of 100%, with sensory profile classifications being similar between trials.

This technique for treating OMW, as well as its reuse in a lettuce cultivation system with olive stones as a supporting medium, provides the olive oil industry with a sustainable alternative and contributes to a circular economy.

Keywords

Olive mill wastewater; IOSLP; Hydroponics; Lettuce; Circular economy.

Índice

Lista de Figuras	xvii
Lista de Tabelas	xix
Lista de Siglas.....	xxi
1. Introdução.....	1
1.1. Objetivo e Metodologia.....	1
1.2. Estrutura da dissertação	2
2. Introdução Teórica.....	3
2.1. Indústria do azeite.....	3
2.1.1. Produção de azeite	3
2.1.2 Resíduos provenientes da produção de azeite	4
2.1.3 Tratamento e reaproveitamento de águas ruças.....	7
2.2. Escassez de água e segurança alimentar.....	14
2.3. Hidroponia	16
2.3.1. Sistema hidropónico Nutrient Film Technique e Drip System.....	16
2.3.2. Matriz de suporte do sistema hidropónico.....	17
2.3.3. Cultivo de alfaces	19
2.4. Enquadramento legal	19
3. Materiais e Métodos	21
3.1. Recolha da água ruça.....	21
3.2. Precipitação química básica.....	21
3.3. Métodos para a caracterização físico-química da água	22
3.3.1. Alcalinidade à fenolftaleína e alcalinidade total.....	22
3.3.2. Azoto amoniacal	22
3.3.3. Azoto Kjeldahl.....	22
3.3.4. Azoto Total	23
3.3.5. Carbono Orgânico Total, Carbono Inorgânico e Carbono Total.....	23
3.3.6. Carência Bioquímica de Oxigénio.....	23
3.3.7. Carência Química de Oxigénio.....	23
3.3.8. Condutividade Elétrica	24
3.3.9. Durezas total, cálcica e magnésiana	24
3.3.10. Fenóis totais.....	24
3.3.11. Fósforo total.....	24
3.3.12. Metais	25
3.3.13. Microbiologia	25
3.3.14. Nitratos	25

3.3.15. Nitritos.....	25
3.3.16. pH.....	25
3.3.17. Potássio e Sódio	25
3.3.18. Sólidos Suspensos Totais	25
3.3.19. Turvação.....	26
3.4. Preparação das soluções nutritivas	26
3.4.1. Solução controle.....	26
3.4.2. Solução OMW nutritiva	26
3.5. Montagem e caracterização do sistema hidropônico.....	27
3.5.1. Construção do sistema hidropônico	27
3.5.2. Caudal.....	29
3.5.3. Densidade aparente e volume dos vazios das matrizes de suporte	29
3.5.4. Substituição das soluções nutritivas	31
3.6. Aquisição e monitorização das alfaces.....	32
3.6.1. Condições na estufa.....	32
3.6.2. Monitorização das alfaces	32
3.7. Caracterização físico-química das alfaces após colheita.....	33
3.8. Análise estatística.....	34
4. Resultados e discussão	35
4.1. Estudo do tratamento da água	35
4.1.1. Precipitação química básica	35
4.1.2. Sedimentação	37
4.1.3. Acerto de pH com ácido nítrico	38
4.2. Aplicação do tratamento à escala piloto.....	39
4.3. Caracterização físico-química da água bruta e tratada.....	40
4.4. Caracterização das soluções nutritivas ao longo do tempo	42
4.5. Monitorização das alfaces	47
4.5.1. Temperatura da estufa e evaporação	51
4.5.2. Número de folhas das alfaces.....	52
4.5.3. Altura e diâmetro das alfaces	53
4.5.4. Clorofila das alfaces	54
4.6. Colheita e caracterização físico-química e agronómica das alfaces.....	54
4.7. Análise sensorial	61
5. Conclusões e perspectivas de trabalho.....	65
Referências bibliográficas	67
Apêndice I - Comunicações em conferência.....	75

Lista de Figuras

Figura 1 - Métodos de extração de azeite e subprodutos resultantes.

Figura 2 - Métodos de tratamento de águas ruças.

Figura 3 - Tratamento de águas ruças por precipitação química básica à escala laboratorial.

Figura 4 - Esquema do Sistema Hidropónico NFT.

Figura 5 - Esquema do Sistema Hidropónico Drip.

Figura 6 - Ensaio de sedimentação.

Figura 7 - Estufa utilizada para proteção do sistema hidropónico.

Figura 8 - Interior de um tubo com leca como matriz de suporte.

Figura 9 - Interior de um tubo com caroço de azeitona como matriz de suporte.

Figura 10 - Demonstração da montagem do sistema hidropónico.

Figura 11 - Esquema da determinação da densidade aparente das matrizes de suporte.

Figura 12 - Esquema da determinação do volume dos vazios das matrizes de suporte.

Figura 13 - Alface antes de ser colocada no sistema hidropónico.

Figura 14 - Valores de pH e CE em função da quantidade de solução de cal hidratada (200 mg L⁻¹) adicionada à água ruça.

Figura 15 - Água ruça bruta (a) e tratada com diferentes valores de pH finais: pH 11 (b), 11,5 (c), 12 (d) e 12,5 (e).

Figura 16 - Filtros após a análise aos SST. Da esquerda para a direita, amostras bruta e a pH 11, 11,5, 12 e 12,5.

Figura 17 - Comparação entre água bruta e tratada. No copo à esquerda 1 L de água ruça bruta e à direita uma proveta de 1 L de água após o tratamento com 11 mL de solução de cal hidratada.

Figura 18 - Variação do volume sedimentado após o tratamento em função do tempo.

Figura 19 - Avaliação da diminuição do valor de pH em função do volume de ácido nítrico adicionado.

Figura 20 - Variação da CE em função do volume de água adicionado.

Figura 21 - Variação do pH das soluções nutritivas ao longo do tempo.

Figura 22 - Variação da CE das soluções nutritivas ao longo do tempo.

Figura 23 - Alfaces no sistema hidropónico ao primeiro dia de cultivo – visão global.

Figura 24 - Alfaces no sistema hidropónico ao primeiro dia de cultivo – aproximado.

Figura 25 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 1 semana.

Figura 26 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 2 semanas.

Figura 27 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 3 semanas.

Figura 28 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 4 semanas.

Figura 29 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 5 semanas.

Figura 30 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 6 semanas.

Figura 31 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 7 semanas, no último dia de cultivo.

Figura 32 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 7 semanas, no último dia de cultivo. Sistema SC+L, SC+C, OMW+L e OMW+C, da esquerda para a direita.

Figura 33 - Variação da Temperatura no interior da estufa, ao longo do tempo de cultivo.

Figura 34 - Evaporação de água na estufa a cada semana.

Figura 35 - Médias do número de folhas das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

Figura 36 - Médias da altura das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

Figura 37 - Médias do diâmetro das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

Figura 38 - Médias dos valores de clorofila das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

Figura 39 - Alface número 4 do sistema OMW+C, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 40 - Alface número 8 do sistema OMW+C, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 41 - Alface número 4 do sistema OMW+L, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 42 - Alface número 8 do sistema OMW+L, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 43 - Alface número 4 do sistema SC+C, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 44 - Alface número 8 do sistema SC+C, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 45 - Alface número 4 do sistema SC+L, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 46 - Alface número 8 do sistema SC+L, vista de frente (a) e de cima (b).

Figura 47 - Perfil sensorial das alfaces OMW+C e SC+C.

Figura 48 - Perfil sensorial das alfaces OMW+L e SC+L.

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais compostos presentes nos subprodutos da produção de azeite e suas funções (adaptado de [16]).

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas de OMW bruta (adaptado de [27–30]).

Tabela 3 - Exemplos de tratamento de águas ruças realizado por diversos métodos.

Tabela 4 - Normas de qualidade de água para reutilização em rega, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto e com o Decreto-Lei 119/19 de 21 de agosto [91], [92].

Tabela 5 - Valores limite de emissão na descarga de águas residuais, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto [91].

Tabela 6 - Caudal de entrada para cada sistema.

Tabela 7 - Caudal de saída para cada sistema.

Tabela 8 - Densidade aparente e volume dos vazios das matrizes de suporte.

Tabela 9 - Datas de reposição ou substituição das soluções nutritivas.

Tabela 10 - Sólidos Suspensos Totais do efluente bruto e dos efluentes tratados com diferentes valores pH final.

Tabela 11 - Caracterização da água bruta (OMW bruta), tratada (OMW tratada), suplementada e com ajuste de pH a ser utilizada no sistema hidropónico (OMW nutritiva) e da solução controlo (controlo). Valores são médias \pm desvio padrão $n \geq 3$.

Tabela 12 - Percentagens de remoção após o tratamento.

Tabela 13 - Caracterização da OMW nutritiva a cada entrada e saída do sistema hidropónico. Valores são médias \pm desvio padrão.

Tabela 14 - Caracterização da solução controlo (SC) a cada entrada e saída do sistema hidropónico. Valores são médias \pm desvio padrão.

Tabela 15 - Características agronómicas e físico-químicas das alfaces cultivadas nos sistemas OMW+C e SC+C após colheita. Valores são médias \pm desvio padrão.

Tabela 16 - Características agronómicas e físico-químicas das alfaces cultivadas nos sistemas OMW+L e SC+L após colheita. Valores são médias \pm desvio padrão.

Tabela 17 - Resultados estatísticos dos atributos avaliados na prova sensorial das alfaces OMW+C e SC+C.

Tabela 18 - Intenção de compra entre alfaces OMW+C e SC+C.

Tabela 19 - Resultados estatísticos dos atributos avaliados na prova sensorial das alfaces OMW+L e SC+L.

Tabela 20 - Intenção de compra entre alfaces OMW+L e SC+L.

Lista de Siglas

- AOPs - *Advanced Oxidation Processes* (Processos avançados de oxidação)
- ATT - Acidez Titulável
- CBO₅ - Carência Bioquímica de Oxigênio
- CE - Condutividade Elétrica
- CQO - Carência Química de Oxigênio
- EAOPs - *Electrochemical Advanced Oxidation Processes* (Processos eletroquímicos avançados de oxidação)
- IB - Índice de Biodegradabilidade
- IC - *Inorganic Carbon* (Carbono Inorgânico)
- INE - Instituto Nacional de Estatística
- IOSLP - Immediate One-Step Lime Precipitation (Precipitação com cal em etapa única)
- IPBeja - Instituto Politécnico de Beja
- LECA - *Lightweight Expanded Clay Agregate* (Agregado leve de argila expandida)
- LQ - Limite de quantificação
- ND - Não determinado
- NFT - *Nutrient Film Technique* (Técnica de fluxo laminar de nutrientes)
- NMP - Número mais provável
- OMW - *Olive Mill Wastewater* (águas ruças)
- ONU - Organização das Nações Unidas
- PEAD - Polietileno de alta densidade
- PET - Politereftalato de etileno
- PVC - Policloreto de vinila
- SAR - *Sodium Absorption Ratio* (Razão de absorção de sódio)
- SC - Solução Controlo
- SST - Sólidos Suspensos Totais
- TC - *Total Carbon* (Carbono Total)
- TKN - *Total Kjeldahl Nitrogen* (Azoto Kjeldahl Total)
- TN - *Total Nitrogen* (Azoto Total)
- TOC - *Total Organic Carbon* (Carbono Orgânico Total)

1. Introdução

O crescimento populacional tem levado ao aumento da produção agrícola, aumentando a preocupação relativamente à degradação do ambiente, uma vez que a degradação dos solos, a emissão de gases com efeito de estufa e a perda de biodiversidade se têm vindo a intensificar. Os países do Mediterrâneo não são uma exceção e estão, atualmente, a viver uma época de vários desafios, tais como pobreza, fornecimento inadequado de alimentos, degradação ambiental, segurança alimentar, entre outros. A escassez de água obriga a que sejam criadas alternativas inteligentes de cultivo agrícola, não esquecendo o aproveitamento eficiente de todos os recursos produzidos no setor [1]

O setor agroindustrial é o terceiro maior consumidor de água a nível mundial, estando consequentemente ligado à produção de grandes quantidades de águas residuais [2]. Especialmente nos países da zona do Mediterrâneo, o consumo de azeite faz parte da dieta comum do ser humano, tornando a indústria do azeite num dos principais setores de produção agroalimentar da região. Nas últimas décadas, o azeite tem vindo a tornar-se ainda mais popular devido às suas propriedades antioxidantes e efeitos medicinais. Contudo, a produção de azeite gera enormes quantidades de subprodutos, que apresentam elevados custos de gestão e descarga, criando um elevado impacto ambiental, contribuindo negativamente para a sua pegada ecológica [3].

A aplicação do conceito de economia circular pode contribuir para o reaproveitamento de resíduos provenientes das indústrias, valorizando os subprodutos por elas gerados [4]. Posto isto, e tendo também em conta os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (Organização das Nações Unidas), urge procurar dar uma nova vida aos subprodutos da indústria do azeite e, simultaneamente, otimizar técnicas sustentáveis para o cultivo de alimentos.

1.1. Objetivo e Metodologia

Tendo em conta a principal problemática dos efluentes gerados na produção de azeite, este projeto teve como objetivo encontrar uma alternativa inovadora, eficiente, rápida e de baixo custo para o tratamento das águas ruças, visando a sua reutilização, por aplicação num sistema hidropónico para cultivo de alfices de forma sustentável, ajudando a combater a crescente escassez de recursos hídricos e trabalhando para uma economia circular.

Para obter uma água tratada com capacidade de reutilização no setor agroalimentar, utilizou-se cal hidratada como agente coagulante, levando à precipitação de grande parte da matéria orgânica e de outros contaminantes presentes na água ruça. Para garantir a eficiência do método utilizado para a reciclagem da água, vários parâmetros foram avaliados ao longo do tempo, como a carência bioquímica de oxigénio (CBO₅), carência química de oxigénio (CQO), fósforo total, azoto, sólidos suspensos totais (SST), entre outros. Após a concretização do tratamento, o efluente obtido foi submetido a um ajuste de pH e suplementado com nutrientes necessários ao desenvolvimento de

alfaces e, posteriormente, colocado num sistema hidropónico para a produção das alfaces de forma sustentável.

1.2. Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em 5 capítulos, sendo o primeiro uma introdução geral, onde são apresentados os principais objetivos deste trabalho e onde se descreve, sucintamente, o conteúdo de cada capítulo. No segundo capítulo encontra-se a Introdução Teórica, que aborda assuntos desde a indústria da produção de azeite à escassez de água e às técnicas hidropónicas de cultivo sustentável. Os materiais e métodos utilizados no desenvolvimento de todo o trabalho são descritos no capítulo terceiro, estando dividido em subtemas. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos para cada parâmetro avaliado, bem como a sua discussão. Por fim, as conclusões obtidas neste trabalho encontram-se no capítulo quinto, onde estão também enunciadas algumas perspetivas futuras relativas ao tema.

2. Introdução Teórica

2.1. Indústria do azeite

O cultivo de azeitonas para a produção de azeite é uma das atividades agrícolas mais antigas do mundo [5]. Todos os anos são produzidas grandes quantidades de azeite, principalmente pelos países da zona do Mediterrâneo, que são responsáveis por cerca de 95% da produção de azeite a nível mundial [6]. De acordo com o Instituto Nacional de Estatística (INE), em Portugal, em 2021, foram produzidas quase 1,4 milhões de toneladas de azeitonas e, no total, os 492 lagares de azeite existentes em Portugal produziram cerca de 229 milhões de litros de azeite. No ano seguinte, nos 455 lagares em funcionamento em Portugal, foram produzidos cerca de 138 milhões de litros de azeite [7]. A crescente procura por azeite deve-se não só ao seu valor nutricional, mas também às suas propriedades organoléticas e à capacidade de prevenção de problemas como diabetes, doenças cardiovasculares, entre outros [8].

No entanto, a indústria do azeite gera grandes quantidades de resíduos, nomeadamente bagaço e águas ruças. O tipo e quantidade de resíduos produzidos dependem principalmente do processo utilizado para a extração do azeite, que pode ser feita através de prensas (processo descontínuo) ou pelos métodos contínuos de centrifugação de duas ou três fases [9].

2.1.1. Produção de azeite

O processo descontínuo para produção de azeite é conhecido como o método tradicional de extração de azeite, sendo menos prático, mais trabalhoso e moroso, produzindo grandes quantidades de resíduos poluentes. Neste processo, as azeitonas são lavadas e, de seguida, esmagadas num banho de água quente, formando-se uma pasta, que é posteriormente prensada para escoar a parte líquida. Por fim, o azeite é separado da água por centrifugação ou decantação [3].

A evolução para os métodos contínuos trouxe alternativas mais rápidas, de fácil manuseamento, melhor controlo de qualidade e a possibilidade de automatizar o processo. O método de extração contínuo pode ser realizado em duas ou três fases, sendo que a principal diferença entre estes é o método de separação e a quantidade de água utilizada [3]. Num método de três fases produz-se 3 vezes mais azeite, comparativamente ao método por prensas, dele resultando três fases: azeite, água ruça e resíduos sólidos (bagaço). Apesar de ser um sistema automatizado e que produz melhor qualidade de azeite, são necessárias grandes quantidades de água e energia, resultando em cerca de 100 L de águas ruças por cada 100 kg de azeitonas. Num sistema de duas fases é necessária uma menor quantidade de água e energia, resultando como subproduto cerca de 10 L de água ruça por cada 100 kg de azeitona [10]. Neste caso apenas resultam duas fases: azeite e uma mistura de água ruça e sólidos. Contudo, apesar de se tornar mais eficiente e menos dispendioso do que o método de três fases, os resíduos produzidos não se tornam mais simples

de tratar devido aos sólidos que se encontram misturados com a água, numa só fase [11]. A **Figura 1** explica de forma sucinta os três principais métodos de extração de azeite atualmente utilizados.

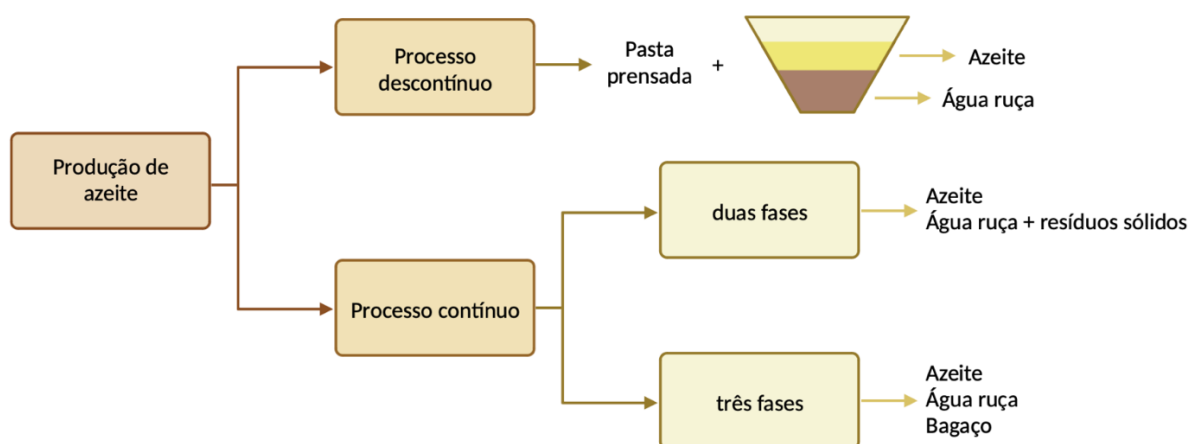


Figura 1 - Métodos de extração de azeite e subprodutos resultantes.

Apesar dos processos de extração contínuos serem mais dispendiosos, são considerados mais vantajosos, especialmente o método de duas fases, uma vez que necessita de menos água e os subprodutos resultantes apresentam menor toxicidade [11].

2.1.2 Resíduos provenientes da produção de azeite

Para além do bagaço e águas ruças mencionados anteriormente, da produção de azeite resultam também folhas e caroços de azeitonas. Todos os subprodutos resultantes desta indústria, apesar de altamente poluentes quando simplesmente descartados para o ecossistema, apresentam bastantes compostos de valor acrescentado. A extração destes compostos ou reciclagem dos subprodutos, torna estes resíduos excelentes fontes, de baixo custo, de antioxidantes, carboidratos, fibras, pigmentos, entre outros [12, 13]. É de salientar que o azeite contém apenas 2% dos compostos fenólicos presentes nas azeitonas, sendo que os restantes 98% se encontram divididos pelos subprodutos desta indústria [14]. Especialmente pelas suas propriedades bioativas, estes compostos têm chamado a atenção de várias indústrias, como é o caso da farmacêutica, cosmética e alimentar [15].

Na **Tabela 1** resumem-se os principais compostos de interesse presentes nos subprodutos da produção do azeite e as suas funções.

Tabela 1 - Principais compostos presentes nos subprodutos da produção de azeite e suas propriedades e funções (adaptado de [16]).

Subproduto	Compostos	Propriedade / Aplicações
Bagaço	Compostos fenólicos	Encapsulação
	Polissacáridos	Propriedades antioxidantes
	Fibras lignocelulósicas	Agentes gelificantes
		Agentes estabilizantes
		Substituição de gordura
		Biocompósitos para embalagens alimentares
		Fonte de mono-, di- e oligossacáridos
Enriquecimento alimentar		
Folhas	Compostos fenólicos	Filmes e embalagens biodegradáveis
		Propriedades antimicrobianas
		Propriedades antioxidantes
		Enriquecimento alimentar
Caroços	Compostos fenólicos	Agentes gelificantes
	Hemicelulose	Propriedades emulsionantes
	Celulose	Agentes espessantes
	Lignina	Agentes dispersantes
	Péptidos bioativos	Propriedades antioxidantes
		Produção de xilitol
Fonte de mono- e oligossacáridos		
Enriquecimento alimentar		
Água ruça	Compostos fenólicos	Propriedades emulsionantes
	Polissacáridos	Agentes estabilizantes
		Enriquecimento alimentar
		Capacidade de retenção de óleo

O bagaço é o principal subproduto sólido da produção de azeite e é composto por caroços, polpa e peles de azeitona triturados e água, cuja quantidade depende do método de extração do azeite [17]. Este subproduto é uma excelente fonte de fenóis, carboidratos e proteínas e a sua composição é muito similar à de materiais lignocelulósicos [18]. Nos últimos anos têm sido realizadas tentativas de aproveitamento do bagaço, como por exemplo a obtenção de extratos ricos em polissacáridos com o objetivo de os utilizar como agentes antioxidantes e anti proliferativos. Também foram extraídos oligossacáridos visando a sua utilização como probióticos, agentes

gelificantes, estabilizantes e emulsionantes na indústria alimentar [12]. Uma vez que o bagaço contém elevada quantidade de matéria orgânica e é rico em nutrientes, após um tratamento eficaz, pode ser reutilizado na indústria agrícola como fertilizante [5]. Noutra área, Rajaeifar et al. têm focado o seu trabalho em tratar e reutilizar o bagaço de azeitona como biocombustível e fonte de glicerol [19].

As folhas de oliveira presentes na produção de azeite são maioritariamente acumuladas durante a poda das árvores, a colheita dos frutos e também durante a sua limpeza, previamente à extração do azeite. Os estudos realizados por Contreras et al. revelam que a composição química das folhas, tal como a do bagaço, é semelhante à de materiais lignocelulósicos e contém proteínas e outros compostos de interesse [20]. No entanto, a sua extração ainda não está otimizada e são necessários mais estudos para conseguir utilizar as potencialidades das folhas de forma eficiente. Os compostos bioativos presentes nas folhas de oliveira, principalmente tirosol, hidroxitirosol e oleuporina apresentam elevado interesse de recuperação devido às suas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, hipoalergénicas, antimicrobianas e anticancerígenas [16][21]. No estudo realizado por Mohammadi et al. utilizaram-se folhas de oliveira, avaliando a sua atividade antioxidante num extrato encapsulado por nano-emulsões, provando ser uma técnica eficiente para melhorar a capacidade antioxidante de ingredientes naturais [22].

Os caroços de azeitona representam cerca de 20% do peso da azeitona e são subprodutos tanto da indústria do azeite, como da azeitona de mesa. São compostos maioritariamente por celulose, hemicelulose e lenhina. Os caroços têm demonstrado ser uma boa fonte de oligossacáridos, açúcares fermentados e polifenóis [23]. Padilla-Rascón et al. avaliaram a capacidade de produção de açúcar a partir de caroços de azeitona através de um pré-tratamento ácido seguido de hidrólise enzimática [24]. Devido à sua elevada capacidade de aquecimento, os caroços poderão ser também reutilizados como biocombustível [14]. Para além disso, Al-Ghouti et al. produziram carbono ativado a partir de caroços de azeitona, com o objetivo de o utilizar como um agente absorvente para remover azul de metileno de água proveniente da indústria têxtil [25].

Já as águas ruças, em geral, caracterizam-se especialmente como sendo uma suspensão turbida, escura e com cheiro desagradável [6]. Essencialmente 80-83% do seu conteúdo é água e 15-18% são compostos orgânicos [26]. Dependendo da variedade e origem das azeitonas, práticas e condições de cultivo e armazenamento e tipo de processo usado na produção do azeite, a composição deste efluente varia [9] (**Tabela 2**). No entanto, o seu armazenamento é sempre motivo de preocupação. Apesar de apresentarem elevada quantidade de matéria orgânica e nutrientes, os efluentes desta indústria são muito poluentes devido à sua composição química, pelo pH ácido, elevada salinidade, níveis fitotóxicos de polifenóis e baixa biodegradabilidade [27].

Tabela 2 - Propriedades físico-químicas de água ruça bruta (adaptado de [27–30]).

Parâmetro	Valor
pH	4,6 – 6,7
CE (mS cm ⁻¹)	2,7 – 24
TOC (mg L ⁻¹)	581 – 26000
CBO ₅ (mg L ⁻¹)	560 – 95000
CQO (mg L ⁻¹)	1390 – 174000
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	1890 – 92000
Fenóis (mg L ⁻¹)	340 – 980
P _{total} (mg L ⁻¹)	36 – 1050

Anualmente, da produção de azeite resultam cerca de 30 milhões de m³ de águas ruças na região do Mediterrâneo e, uma vez que ainda não existem soluções economicamente viáveis e eficientes para o seu tratamento e valorização, tornam-se assim a maior problemática desta indústria [31]. Até há bem pouco tempo, as águas ruças eram descarregadas em coletores municipais, corpos de água e no solo, solução ilegal nos dias que correm. Atualmente, as formas mais comuns de descarga são a evaporação em lagoas a céu aberto e a descarga controlada nos solos. Contudo, estas alternativas não são uma solução, uma vez que continuam a ser pouco eficientes e bastante prejudiciais para o ecossistema, devido à libertação de maus odores, infiltrações, proliferação de insetos, fitotoxicidade e alteração da qualidade dos solos [31]. Este subproduto é considerado o mais poluente das indústrias de óleos devido à sua toxicidade, afetando todo o leque do ecossistema. As águas ruças são tão prejudiciais para o ambiente que apenas 1 m³ deste subproduto equivale a 200 m³ de água de esgoto doméstico, ambientalmente falando [32]. Tendo em conta estes factos, a procura de soluções para o tratamento deste efluente, bem como o seu aproveitamento e valorização, tem sido algo em que vários investigadores têm apostado. Os principais focos de investigação têm sido a redução da fitotoxicidade das águas ruças para reutilização agrícola, a tentativa de tornar possível o tratamento convencional em estações de tratamento de águas e a recuperação dos compostos fenólicos presentes no efluente pelas suas propriedades farmacológicas [27, 31].

2.1.3 Tratamento e reaproveitamento de águas ruças

Nos últimos anos têm sido desenvolvidos e testados vários métodos mais sustentáveis e económicos, do que os já existentes, para o tratamento das águas ruças. Existem diversas opções de tratamentos, através de métodos biológicos, físico-químicos, por oxidação e processos combinados [33]. A **Figura 2** esquematiza de forma sucinta métodos utilizados no tratamento de águas ruças.

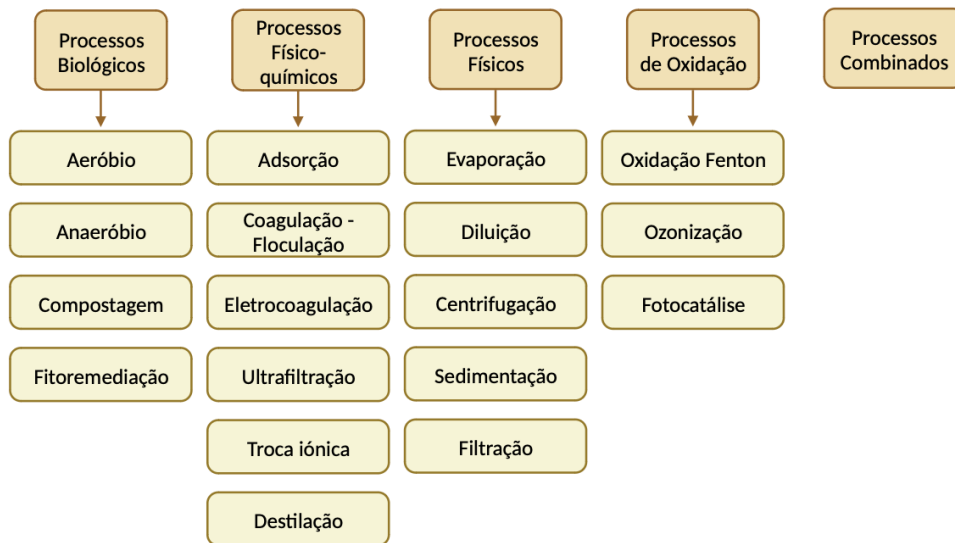


Figura 2 - Métodos de tratamento de águas ruças.

Os métodos de tratamento biológicos podem ser processos anaeróbios e aeróbios, que recorrem à utilização de microrganismos para degradar os constituintes da água residual. Nos processos anaeróbios são utilizados microrganismos, nomeadamente bactérias, sob condições de oxigénio mínimas ou nulas. Este tipo de tratamento requer pouca energia, produz relativamente poucas lamas e permite a recuperação de energia, por formação de biogás a partir dos resíduos orgânicos presentes na água residual [34]. Os processos aeróbios recorrem a bactérias, fungos e protozoários que se alimentam dos compostos presentes nas águas ruças, possibilitando a diminuição da concentração de compostos fenólicos e a oxidação de moléculas orgânicas complexas a formas simples de carbono, para que a água possa ser reinserida no meio ambiente de forma segura [35]. Nos tratamentos biológicos também se inserem as opções de processos de compostagem [36] e de fitorremediação [37].

Os métodos físico-químicos envolvem muitas vezes a adição de substâncias químicas. Exemplos destes tratamentos são troca iónica, coagulação-floculação, eletrocoagulação, adsorção e destilação [38]. Existe também a possibilidade de pré-tratamento destas águas por evaporação, diluição, filtração, sedimentação e centrifugação, sendo estes, apesar de pouco eficazes por si só, considerados métodos de tratamento físico [33].

Métodos de tratamento por oxidação envolvem a formação de agentes oxidantes que oxidam compostos poluentes e aumentam a biodegradabilidade da água. Exemplos deste tratamento são a oxidação *Fenton*, ozonização, processos avançados de oxidação (AOPs) e de eletro-oxidação (EAOPs) [39], [40]. Muitos destes métodos podem também ser combinados para uma maior eficiência de tratamento, uma vez que, devido à complexidade orgânica das águas ruças, um método de tratamento isolado pode não ser suficiente. Assim, juntando diferentes métodos

sequencialmente, poderá ser possível tratar águas para que sejam ambientalmente aceitas e que cumpram com os requisitos de descarte ou reutilização [41]. Exemplos de tratamentos combinados são a utilização de floculação e sedimentação para eliminação de sólidos, turvação e cor da água ruça, seguido de microfiltração para remoção de matéria orgânica e, por fim, um tratamento com culturas de microalgas *S. obliquus* para reutilização de nutrientes. Com estes tratamentos, Hodaifa et al. obtiveram eficiências de remoção de 67% Carbono Orgânico Total (TOC), 96% carbono inorgânico, 98% azoto total e 59% fenóis totais [42]. Khani et al. averiguaram a capacidade de aumento da biodegradabilidade de águas ruças através da combinação de processos de eletrocoagulação e ozonização catalítica e obtiveram eficiências de remoção de 98% CQO, 97% TOC e 94% turvação [43]. A **Tabela 3** enuncia alguns exemplos dos tratamentos realizados acima mencionados.

Tabela 3 - Exemplos de tratamento de águas ruças realizado por diversos métodos.

Tratamento	Objetivo	Observações e conclusões	Referência
Digestão anaeróbia	Utilização de um reator para produção de biogás.	Eficiências de remoção de 71% CQO e 38% fenóis. Produção eficaz de biogás. Muito demorado.	[34]
Processo aeróbio	Utilização de uma bactéria proveniente da azeitona para remoção de CQO e fenóis de águas ruças, através de reatores em condições aeróbias.	Eficiência de remoção de 70% CQO e 60% fenóis. Capacidade de remoção de compostos por parte das bactérias.	[35]
Compostagem	Adição de estrume de galinha e coelho a sedimentos de águas ruças e lamas.	Diminuição dos níveis de toxicidade. Capacidade de servir como pré-tratamento para uma compostagem mais complexa. Ao fim de 50 dias a taxa de degradação de matéria orgânica começa a diminuir (62% máximo). Cheiro desagradável.	[36]
Fitorremediação	Utilização de <i>wetlands</i> com <i>Vetiveria Zizanioides</i> para remoção de azoto e compostos fenólicos de águas ruças.	Eficiências de remoção de 93% azoto e 39% compostos fenólicos. Quanto maior a concentração de solução de água ruça, menores eficiências de remoção obtidas.	[37]
Adsorção	Aplicação de um bio-adsorvente para recuperação de compostos fenólicos de águas ruças.	Desenvolvimento de uma solução de baixo custo com uma capacidade de adsorção de 789 mg g ⁻¹ para a separação e reutilização de compostos fenólicos.	[44]

Tabela 3 (continuação)

Coagulação-floculação	Estudo da germinação de três espécies de plantas regadas com água ruça tratada por adição de cal.	Eficiências de remoção de 40% CQO e 97% compostos fenólicos. Capacidade de redução da toxicidade da água ruça para utilização em rega. Produção de lamas.	[45]
Eletrocoagulação	Realização de um pré-tratamento a águas ruças através de eletrocoagulação com elétrodos de Al ou Fe para melhorar a produção de biocombustível.	Diminuição da quantidade de compostos fenólicos (20 a 36%). Pouco eficiente por si só. Bons rendimentos quando combinado com centrifugação.	[46]
Ultrafiltração	Teste de diferentes tipos de membranas na recuperação de compostos fenólicos de águas ruças.	A membrana UPO05 apresentou os melhores resultados, com uma rejeição de 8% para compostos fenólicos e 61% para CQO. Membrana de fácil limpeza. Separação dos compostos bem-sucedida.	[47]
Troca iônica	Recuperação de compostos antioxidantes presentes em águas ruças através de resinas poliméricas de troca iônica.	Recuperação de compostos antioxidantes na ordem dos. 61 -83%. Remoção de 55% CQO. Obtenção de uma água tratada com capacidade de aplicação de tratamento biológico.	[48]
Destilação	Desenvolvimento de um sistema de tratamento de águas ruças através de um painel solar parabólico e um destilador inovador	Eficiências de remoção de 96% compostos fenólicos. Diminuição de pH da água. Dependente da luz solar. Elevado custo de material.	[49]
Evaporação	Estudo da ameaça ambiental de lagoas de evaporação de águas ruças e bagaço.	Presença de diversos metais pesados. Presença de bactérias e fungos.	[50]
Diluição	Utilização de águas residuais urbanas para diluir águas ruças para aumentar a capacidade de tratamento das águas ruças, estimulando a atividade biológica.	Eficiências de remoção de 69% CQO e 67% polifenóis. Redução de compostos poluentes e aumento da biodegradabilidade da água.	[51]

Tabela 3 (continuação)

Oxidação Fenton	Avaliação do potencial de oxidação otimizada na diminuição da toxicidade e matéria orgânica de águas ruças, utilizando a reação de <i>Fenton</i> como um pré-tratamento.	Eficiências de remoção de 26% CQO e 81% fenóis. Redução da toxicidade. Processo mais viável para águas com baixo teor de CQO inicial.	[52]
Ozonização	Estudo da eficiência do ozono na remoção de compostos fenólicos e outros contaminantes da água ruça.	Eficiências de remoção de 10% CQO ao fim de 540 min e 50% fenóis ao fim de 300 min. Diminuição da toxicidade da água.	[53]
Fotocatálise	Construção de um catalisador eficiente e de baixo custo para a descontaminação de águas ruças.	Eficiências de remoção de 95% CQO e 85% CBO ₅ . 99% de degradação de fenóis. 93% de capacidade de reutilização do catalisador.	[54]
Oxidação Anódica	Oxidação eletroquímica de águas ruças, utilizando um ânodo de diamante dopado em boro.	Diminuição do CQO e mineralização	[55]

Apesar de todas estas tentativas, ainda não foi possível encontrar o método de tratamento ideal em larga escala, pois muitos destes métodos são dispendiosos, morosos e trabalhosos [40]. Como alternativa, tem sido sugerida a otimização da utilização de bentonita ou cal para tratar águas ruças, visto que são materiais baratos, disponíveis e eficientes [56].

Atualmente, na maioria dos casos, as águas ruças provenientes da produção do azeite são consideradas inutilizáveis e, por isso, são simplesmente descartadas. Contudo, através de um tratamento eficaz, será possível dar-lhes uma utilidade e valorizá-las e, assim, evitar que estas contribuam para a poluição ambiental [29]. O sucesso de atuais e futuras investigações nesta área contribuirão para a proteção ambiental e dos ecossistemas e para uma economia circular [57].

A técnica de precipitação química básica de etapa única (IOSLP – *Immediate one-step lime precipitation*) é um processo de tratamento de águas residuais patenteado pelo Instituto Politécnico de Beja [58] (PT 105554), que tem vindo a ser estudado em águas provenientes de diferentes indústrias [59]. Luz et al. explicam o princípio da técnica, aplicando-a a águas provenientes do setor agroalimentar [60]. O IOSLP consiste na aplicação de cal hidratada (Ca(OH)_2), um reagente barato e de acesso fácil, com capacidade de clarificar, desinfetar e reciclar nutrientes. A adição de cal hidratada a águas residuais já tem sido realizada com sucesso em estudos prévios, com o objetivo de ajustar o valor de pH e remover durezas e impurezas de águas. Para além disso, este reagente também já tem vindo a ser usado para correção de solos [61]. Desde, pelo menos, 1994 que a utilização de cal é estudada para o tratamento de águas residuais, por ser uma substância segura e barata, capaz de remover matéria orgânica da água de forma eficiente e sem que se formem compostos perigosos [62].

Correia et al., que aplicaram o processo IOSLP em águas residuais urbanas, alcançaram eficiências de remoção de 86%, 86% e 89% para CBO_5 , CQO e fósforo total, respetivamente. Concluíram que, através deste método será possível obter água tratada com capacidade de reutilização como solução nutritiva para o cultivo de alface em sistemas hidropónicos [63]. Este tratamento foi também aplicado a águas residuais da indústria do vinho por Luz et al., que removeram 22.2% em CQO, 87.1% em fósforo total, 99.9% em fenóis totais, 97-100% em metais e 100% em coliformes fecais e *E. coli* [60]. Ramalho et al. trataram águas de lixiviados de aterro através deste processo, em conjunto com carbonatação com CO_2 atmosférico, onde se obteve eficiências de remoção de 66% para CQO, azoto e cor, 67% para sulfatos e quase 100% para metais, alcançando valores aceitáveis para proceder à descarga do efluente em coletores municipais, de acordo com as Leis em vigor [64]. Madeira et al. aplicaram o mesmo tratamento em águas provenientes de matadouro, finalizando com carbonatação atmosférica. Neste estudo foi possível obter eficiências de remoção entre 80 e 91% para CQO, 82-86% para CBO_5 e 98-99% para SST [65].

O processo (**Figura 3**) ocorre de acordo com as **Equações 1 a 7**. Ao adicionar quantidades exatas de cal hidratada à água residual, dá-se a produção de carbonato de cálcio, que atua como agente coagulante, auxiliando na remoção de matéria orgânica e outros contaminantes, como metais,

compostos fenólicos, óleos e gorduras [63]. O tratamento com cal hidratada permite ainda que, a um pH elevado, ocorra a precipitação do fósforo total e dos sólidos dissolvidos e suspensos, bem como a diminuição dos níveis de azoto e microrganismos [27].

Equações 1 a 7 – Reações que ocorrem ao adicionar cal hidratada a águas residuais, de acordo com [27].

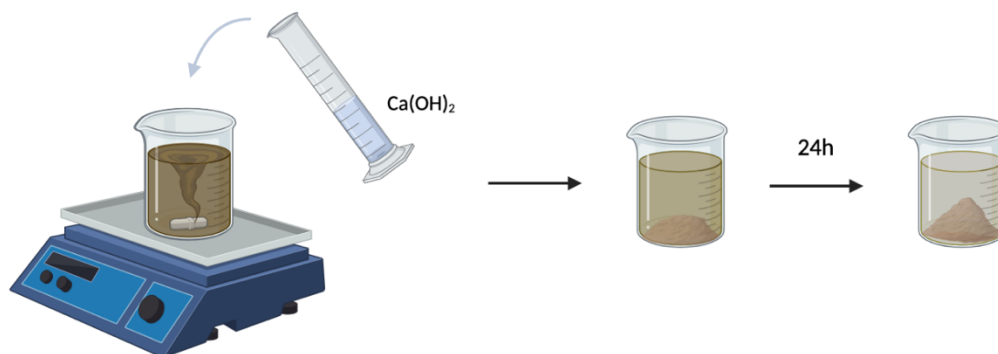
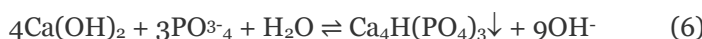
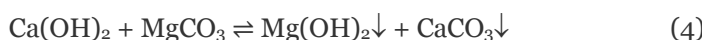
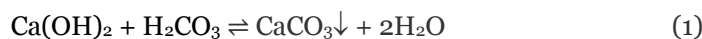


Figura 3 - Tratamento de águas ruças por precipitação química básica à escala laboratorial.

2.2. Escassez de água e segurança alimentar

Nos dias que correm, cada vez mais a disponibilidade e a qualidade da água são tópicos mundialmente preocupantes. A escassez de água doce é influenciada por vários fatores, tais como o crescimento da população, o aumento do consumo, a urbanização, a poluição e as alterações climáticas [66]. A origem da escassez de água pode ser natural, em algumas regiões, devido à redução das chuvas e alterações climáticas. No entanto, as causas humanas são as mais prejudiciais, tais como o desperdício de água, a poluição de recursos hídricos e a má gestão de água. Uma grande parte das águas residuais é descartada sem tratamento algum, resultando na poluição de rios e de outros corpos de água, deixando em perigo de vida espécies que neles habitam ou que dependem dessas fontes [67].

Diretamente afetada por esta problemática é a indústria alimentar, uma vez que é aquela que mais água potável consome a nível mundial. Por exemplo, para a produção de 1 tonelada de azeite podem ser utilizados até 14,5 milhões de litros de água [31]. Sendo que os países da região do Mediterrâneo são dos mais vulneráveis às alterações climáticas, escassez de água e seca e, uma vez que estes países são responsáveis por grande parte da produção de azeite a nível mundial, a ideia de aproveitar os subprodutos desta indústria para tentar combater as consequências dos problemas ambientais provocados, ganha particular importância [68].

Sendo a agricultura responsável por mais de 60% da demanda de água a nível global [68] e, uma vez que a crescente escassez de água é um dos fatores limitantes para a produção agrícola e segurança alimentar [66], é necessário estudar alternativas para garantir que este bem essencial continua disponível no ecossistema.

Muitos investigadores têm explorado algumas soluções para a crescente escassez de água doce, como a possibilidade de reutilização de águas residuais, aproveitando também os nutrientes nelas presentes. Recentemente, a possibilidade de reutilização de águas ruças na agricultura tem vindo a ser estudada e promovida devido às elevadas concentrações de nutrientes, especialmente nitrogénio, fósforo, potássio e magnésio, bem como ao seu elevado conteúdo em matéria orgânica, para além do facto de poderem ser uma fonte de água de rega de baixo custo [66, 69].

Uma das vantagens de reutilizar águas residuais é o facto de estarem constantemente a ser produzidas. A reciclagem de água traz respostas positivas ao meio ambiente, uma vez que torna desnecessária a aquisição de água doce do ecossistema em demasiada quantidade e previne a sua descarga nos solos e corpos de água. Desta forma estar-se-á a contribuir para a prevenção e redução da deterioração do ecossistema [68].

De acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, a escassez de água afeta mais de 40% da população mundial e mais de 800 milhões de pessoas sofrem de subnutrição. Anos e anos de má gestão e uso indevido e excessivo de água, bem como a contaminação de fontes de água doce, fizeram com que o *stress* hídrico se agravasse. Para além disso, enfrentamos crescentes desafios no que diz respeito à degradação dos ecossistemas e à escassez de água. Tendo em conta o Objetivo 6.3, até 2030 devemos tentar “melhorar a qualidade da água, diminuindo a poluição, eliminando descargas e minimizando a libertação de materiais perigosos e produtos químicos perigosos, reduzindo para metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando substancialmente a sua reciclagem e reutilização segura a nível global.” [70]. Os Objetivos 12.1 e 12.5 encorajam a “implementação de programas de consumo e produção sustentáveis” e a “redução de resíduos, focando-se nas oportunidades de prevenção, redução e reutilização.” [71]. Por fim, o Objetivo 15.5 pretende “tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação dos habitats naturais(...)” [72]. Este trabalho pretende contribuir para a implementação de algumas destas medidas.

2.3. Hidroponia

O termo hidroponia deriva das palavras gregas *hydro* (água) e *ponos* (trabalho), literalmente significando trabalho em água [73]. A hidroponia é uma técnica alternativa ao cultivo tradicional, onde se criam condições ideais para o crescimento de plantas em ambiente controlado, sem a utilização de solo. O solo é geralmente substituído por uma solução aquosa ou por um substrato sólido e os nutrientes e minerais essenciais para o desenvolvimento das plantas devem ser fornecidos através de uma solução nutritiva [74]. Comparativamente ao cultivo tradicional, a hidroponia apresenta várias vantagens, tais como crescimento mais rápido, maior produtividade, fácil manuseamento, maior eficiência de água e menor uso de fertilizantes e pesticidas [75].

Devido à crescente urbanização e industrialização, os campos de cultivo são cada vez mais escassos e as técnicas convencionais de agricultura são cada vez mais prejudiciais para o ambiente [73]. O principal objetivo da aplicação da hidroponia é, tendo em conta a crescente escassez de água e alimentos, cultivar plantas num meio controlado e mais sustentável, reutilizando resíduos de outras indústrias como fontes de água e nutrientes. Para além de ser possível utilizar águas residuais através desta técnica, é também possível inovar e procurar reutilizar outros subprodutos da indústria, contribuindo assim para uma economia circular [76].

Quando comparados com os métodos de agricultura convencionais, os sistemas hidropónicos tornam-se mais sustentáveis no que toca à eficiência de produção, especialmente quanto à utilização de água e fertilizantes. Num cultivo por hidroponia as plantas dependem apenas dos nutrientes fornecidos pelo sistema, contrariamente às plantas cultivadas tradicionalmente que se aproveitam das condições nutritivas e atividade microbiana do solo. Por isso é necessário ser consciente na escolha do tipo de sistema hidropónico, no material de enchimento e no conteúdo da solução nutritiva aplicada [77].

2.3.1. Sistemas hidropónicos Nutrient Film Technique e Drip System

Os sistemas hidropónicos podem ser classificados como sistemas abertos ou fechados. Nos sistemas abertos, a solução nutritiva é aplicada diretamente nas raízes e é apenas utilizada uma vez. Já nos sistemas fechados, a solução nutritiva é reciclada, podendo circular novamente pelo sistema [75]. Existem várias técnicas de hidroponia, sendo a mais habitualmente utilizada a NFT (*Nutrient Film Technique*) ou técnica de fluxo laminar de nutrientes [78]. Esta técnica é classificada como um sistema fechado e é tida como a mais viável e prática para cultivo e crescimento de hortaliças como é o caso da alface e da couve [79]. Esta técnica baseia-se no fluxo contínuo da solução nutritiva, que é bombeada para uma extremidade do sistema e, com a sua ligeira inclinação, desce até ao reservatório que se encontra na outra extremidade, passando pelas raízes de todas as plantas [80]. A **Figura 4** apresenta um esquema do sistema NFT.

Outra técnica de hidroponia, a *Drip System*, permite que cada planta receba quantidades suficientes de nutrientes, uma vez que a solução nutritiva pinga individualmente por gotejadores, escorregando pelo meio de enchimento, até às raízes de cada planta. Por fim, a solução nutritiva

não absorvida pelas raízes volta ao reservatório principal para circular novamente no sistema [81]. A **Figura 5** apresenta um esquema do sistema *Drip*. Neste trabalho utilizaram-se, em simultâneo, as duas técnicas hidropônicas, NTF e *Drip System*.

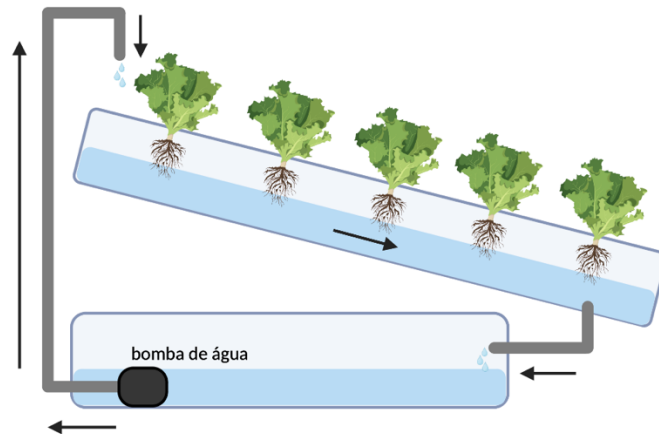


Figura 4 - Esquema do Sistema Hidropônico NTF.

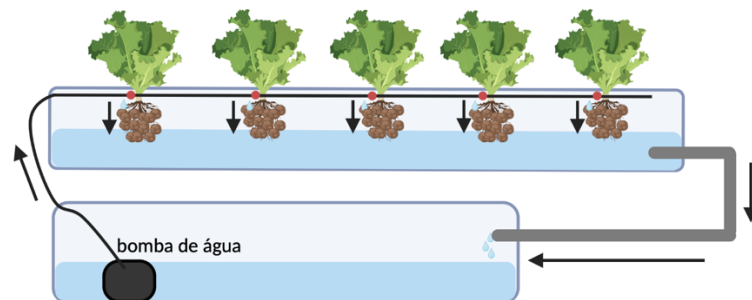


Figura 5 - Esquema do Sistema Hidropônico *Drip*.

2.3.2. Matriz de suporte do sistema hidropônico

A matriz de suporte de um sistema hidropônico tem principalmente as seguintes funções: fornecer água e aeração às raízes da planta, permitir máxima capacidade de crescimento das raízes e auxiliar fisicamente a planta [81]. Para escolher um material para este efeito deve ter-se em consideração alguns fatores, como a sua densidade, a capacidade de retenção de água e a composição química, bem como garantir a capacidade de fornecer níveis suficientes de oxigênio e água às raízes [82].

Alguns dos materiais mais utilizados para este efeito são cubos de lã de rocha que é um meio poroso, não degradável, composto por granite ou calcário. No entanto, a lã de rocha absorve água com bastante facilidade, pelo que pode levar ao apodrecimento das raízes. Fibra de coco é outro

material comumente utilizado como meio de enchimento. Provém da casca de coco, que é muitas vezes considerada como resíduo. Apesar de absorver bastante humidade, serve como um bom meio de aeração para as raízes. Provenientes da indústria do arroz, também podem ser utilizadas como meio de enchimento as cascas de arroz secas. Tal como a fibra de coco, as cascas de arroz degradam-se lentamente, apresentam boa aeração e retêm água suficiente para alimentar as raízes das plantas. A perlite e a vermiculite são mais dois materiais que podem ser utilizados na hidroponia. Ambos são maioritariamente compostos por minerais e expandem ao serem submetidos a elevadas temperaturas, tornando-se leves, porosos e absorventes [80, 81].

O meio de enchimento escolhido como controlo neste trabalho foi a leca (ou LECA – *Lightweight Expanded Clay Aggregate*, em português, agregado leve de argila expandida), que é produzida pela combustão de argila, xisto ou bentonita. A leca é composta por agregados leves que expandem quando submetidos a elevadas temperaturas. Este material tem vindo a ser utilizado em diversas indústrias, nomeadamente construção civil, engenharia ambiental e agricultura. A leca tem a capacidade de regular o escoamento de água, manter o nível de humidade, proteger as raízes do frio, armazenar nutrientes e auxiliar no fluxo de oxigénio, proporcionando uma manutenção fácil e barata ao cultivo de plantas [83]. Uma vez que apresentam baixa capacidade de armazenamento de água, a acumulação de sais e a seca são problemas comuns que podem ocorrer ao utilizar a leca como meio de enchimento. No entanto, em sistemas com rega frequente e sistematizada, este problema não se torna uma preocupação. Para além disso, este material pode ser facilmente reutilizado, o que o torna mais sustentável [84].

Voltando à indústria do azeite, alguns estudos têm-se focado na utilização de caroços de azeitona como meio de enchimento em sistemas hidropónicos, uma vez que este subproduto é rico em proteínas, açúcares, fibras e compostos fenólicos. No entanto, a sua utilização para este fim pode trazer algumas limitações devido à elevada concentração de sais que contém [85]. Num trabalho recente, foi estudado o efeito da substituição gradual de turfa por caroço de azeitona num cultivo de beldroegas e cardos [76]. Concluiu-se que uma quantidade de 5 a 10% de caroço de azeitona seria ideal para um crescimento equilibrado e saudável das plantas. Com estas percentagens de caroço foi possível alcançar um aumento nos níveis de N, K, Mg e Na do meio de enchimento e o valor nutritivo das plantas não sofreu alterações significativas. No estudo realizado por Chrysargyris et al. em couve-flor, brócolo e repolho, a adição deste subproduto ao sistema hidropónico proporcionou um aumento na concentração de minerais como P, K, Ca, Na e Mg e a porosidade e a capacidade de retenção de água diminuíram [85]. No entanto, os valores de clorofila mostraram ser relativamente mais baixos com o aumento da quantidade de caroço utilizada. O número de folhas, a altura e o peso fresco também se mostraram afetados negativamente. Apesar disso, o caroço de azeitona promoveu o aumento dos níveis de potássio, cálcio, antioxidantes e polifenóis nas plantas.

Apesar de alguns contratempos, não deixa de ser importante estudar a reutilização de caroços de azeitona, uma vez que proporciona alternativas de gestão de subprodutos desta indústria,

promovendo a criação de novos produtos, a partir de resíduos alimentares, contribuindo para uma economia circular [86].

2.3.3. Cultivo de alfaces

A alface é um vegetal que é bastante consumido a nível mundial e pode ser facilmente produzido, tanto em solo como de formas alternativas [87]. Devido ao seu elevado consumo e valor económico, a alface tem sido produzida em grande escala por todo o mundo. De acordo com o INE, em 2020, Portugal produziu quase 62000 toneladas de alface, ocupando cerca de 2500 hectares para o seu cultivo [88].

A produção comercial de alfaces e outros vegetais, realizada predominantemente em campos, implica a utilização de bastantes fertilizantes e pesticidas. Cada vez mais os consumidores procuram produtos mais “limpos” e saudáveis [77]. A hidroponia, sendo uma técnica de cultivo em que o produtor tem controlo sobre a composição nutritiva do sistema e que descarta o uso de pesticidas, tem-se tornado uma alternativa viável à produção de alfaces e outros vegetais [89], [90].

A alface (*Latuca sativa*) é um bom modelo de comparação, para perceber se, e como, o cultivo em sistema hidropónico afeta a sua produção, uma vez que se trata de um vegetal bastante conhecido mundialmente e que pode ser facilmente produzido [89].

2.4. Enquadramento legal

Para garantir a segurança humana e ambiental no que toca à reutilização e descarga de águas residuais é necessário estabelecer valores limite de controlo dos parâmetros de qualidade das águas, como por exemplo, CBO₅, SST, *E. coli*, azoto e metais. O Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto [91] enuncia os valores limite de emissão para a descarga de águas residuais e para a sua reutilização em rega. O Decreto-Lei 119/19 de 21 de agosto [92] menciona os parâmetros das normas de qualidade da água para reutilização em rega, alterados recentemente. Nas **Tabelas 4 e 5** são apresentados os valores limite de emissão dos parâmetros de interesse para este trabalho.

Tabela 4 - Normas de qualidade de água para reutilização em rega, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto e com o Decreto-Lei 119/19 de 21 de agosto [91], [92].

Parâmetro	Valor Limite de Emissão
CBO ₅ (mg L ⁻¹)	≤ 10
SST (mg L ⁻¹)	≤ 10
Turvação (NTU)	≤ 5
<i>E. coli</i> (ufc/100mL)	≤ 10
Azoto amoniacal (mg L ⁻¹)	10
Azoto total (mg L ⁻¹)	15
P total (mg L ⁻¹)	5
Cr (mg L ⁻¹)	20

Tabela 4 (continuação)

Mn (mg L⁻¹)	10
Fe (mg L⁻¹)	5
Ni (mg L⁻¹)	2
Cu (mg L⁻¹)	5
Cd (mg L⁻¹)	0,05
Pb (mg L⁻¹)	20
As (mg L⁻¹)	10
Zn (mg L⁻¹)	10

Tabela 5 - Valores limite de emissão na descarga de águas residuais, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto [91].

Parâmetro	Valor Limite de Emissão
pH (Escala de Sorensen)	6,0 – 9,0
CBO₅ (mg L⁻¹)	40
CQO (mg L⁻¹)	150
SST (mg L⁻¹)	60
Fenóis (mg L⁻¹)	0,5
P total (mg L⁻¹)	10
Azoto total (mg L⁻¹)	15
Azoto amoniacal (mg L⁻¹)	10
NO₃⁻ (mg L⁻¹)	50

3. Materiais e Métodos

3.1. Recolha da água ruça

A água ruça (OMW – *Olive Mill Wastewater*) foi disponibilizada pelo Lagar de Vale de Vargo, em Serpa e foi recolhida a 16 de novembro de 2021. A água foi recolhida através de uma bomba e colocada em recipientes de PEAD (Polietileno de alta densidade) de 25 litros, sendo transportada diretamente para os laboratórios da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), onde foi armazenada.

3.2. Precipitação química básica

Para verificar a quantidade ideal de cal hidratada necessária para tratar a água foram realizados alguns ensaios. Para tal colocou-se 1 L de água ruça num copo e adicionou-se 0,1 ou 0,2 mL de solução de cal hidratada (200 g L^{-1}) de cada vez, com recurso a uma micropipeta *EASY 40 Elite* 100-1000 μL , em agitação rápida constante (placa de agitação *NORMAX*), verificando os valores de pH e condutividade elétrica (CE) atingidos a cada adição de solução de cal hidratada. Posteriormente, deixaram-se sedimentar em provetas amostras destes ensaios, com diferentes valores de pH finais, de maneira a perceber qual seria o mais indicado para o objetivo deste trabalho. Os ensaios foram realizados em triplicado.

Os ensaios de sedimentação (**Figura 6**) foram realizados com recurso a provetas de 1 L, onde foi colocada água previamente tratada e cronometrado o tempo de sedimentação dos sólidos resultantes do tratamento. Para garantir que a sedimentação foi completa, ao fim de 48 h verificou-se o volume total de lama depositada no fundo das provetas. O ensaio foi realizado em triplicado.

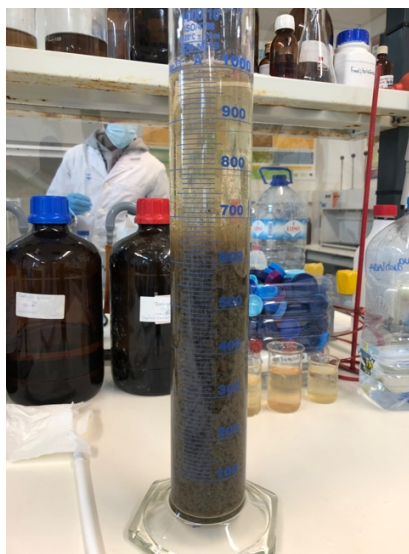


Figura 6 - Ensaio de sedimentação.

Uma vez que após o tratamento, a água alcança um pH demasiado elevado (~12) devido à adição da cal hidratada, é necessário fazer com que o pH desça até 6, aproximadamente, visto ser este um valor aceitável para a utilização da água tratada em rega, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto [91]. Para o ajuste de pH foi utilizado ácido nítrico com o intuito de usufruir do azoto nele presente, para alimentação das alfaces. Foram realizados ensaios para determinar a quantidade indicada até alcançar uma diminuição de pH aceitável. Para tal, após a remoção da lama gerada no tratamento, foram adicionadas a 200 mL de água ruça tratada, quantidades exatas de ácido nítrico e a diminuição do valor de pH foi sendo acompanhada.

3.3. Métodos para a caracterização físico-química da água

3.3.1. Alcalinidade à fenolftaleína e alcalinidade total

A determinação da alcalinidade foi efetuada pelo método volumétrico [93], por titulação com ácido clorídrico 0,1 M em dois passos: alcalinidade à fenolftaleína e alcalinidade total. Na primeira é utilizada fenolftaleína como indicador, sendo que há alteração da cor rosa para incolor. Na alcalinidade total é utilizado laranja de metilo como indicador, onde as amostras alteram a sua cor de amarelo para alaranjado. A alcalinidade traduz a concentração de carbonatos e bicarbonatos presentes na amostra, expressa em $\text{mg CO}_3^{2-} \text{ L}^{-1}$ e em $\text{mg HCO}_3^- \text{ L}^{-1}$, respetivamente. Por fim, a alcalinidade total é determinada a partir da soma das concentrações de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos, expressos em $\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, como na seguinte equação (8):

$$\text{Alcalinidade Total (mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}) = [\text{hidróxidos}] + [\text{carbonatos}] + [\text{bicarbonatos}] \quad (8)$$

3.3.2. Azoto amoniacal

A determinação do azoto amoniacal foi feita pelo método de destilação [93], sendo realizada destilação no *BÜCHI Distillation Unit K-355* posteriormente à adição de solução tampão de tetraborato de sódio 0,0125 M e hidróxido de sódio 6 N para ajustar o pH a 9,5. De seguida foi feita a leitura por titulação, utilizando ácido bórico 2%, *tashiro* como indicador e ácido sulfúrico 0,02 N como titulante, em que as amostras alteram a sua cor verde para púrpura. O resultado é expresso em $\text{mg NH}_3 \text{ L}^{-1}$ e é calculado pela seguinte equação (9):

$$\text{mg NH}_3 \text{ L}^{-1} = \frac{[(A-B)*18,01*T*1000]}{V_{\text{amostra}}} \quad (9)$$

onde *A* corresponde ao volume de titulante gasto na titulação da amostra, *B* corresponde ao volume de titulante gasto na titulação do branco e *T* corresponde à concentração da solução titulante.

3.3.3. Azoto Kjeldahl

A determinação do azoto Kjeldahl (TKN) foi efetuada através do método semi-micro Kjeldahl [93]. Este método tem início com a digestão das amostras no *Velp Scientifica DK 20*, que leva à conversão de todo o azoto em azoto amoniacal, seguindo-se a destilação no *BÜCHI Distillation*

Unit K-355. Por fim foi feita a leitura por titulação, utilizando ácido bórico 2%, *tashiro* como indicador e ácido sulfúrico 0,02 N como titulante, em que as amostras alteram a sua cor verde para púrpura. O resultado é expresso em $\text{mg NH}_3 \text{ L}^{-1}$ e é calculado pela seguinte equação (10):

$$\text{mg NH}_3 \text{ L}^{-1} = \frac{[(A-B) \cdot 14,01 \cdot T \cdot 1000]}{V_{\text{amostra}}} \quad (10)$$

onde *A* corresponde ao volume de titulante gasto na titulação da amostra, *B* corresponde ao volume de titulante gasto na titulação do branco e *T* corresponde à concentração da solução titulante.

3.3.4. Azoto Total

Para determinar o azoto total (TN), as amostras foram previamente diluídas e de seguida filtradas a vácuo utilizando um filtro de 0,45 μm . A leitura foi realizada através de um analisador de carbono orgânico total *TOC-V* da *Shimadzu* (e *ASI-V* da *Shimadzu*) [93].

3.3.5. Carbono Orgânico Total, Carbono Inorgânico e Carbono Total

Para a determinação de Carbono Orgânico Total (TOC), Carbono Inorgânico (IC) e Carbono Total (TC), as amostras foram previamente diluídas e de seguida filtradas a vácuo, utilizando um filtro de 0,45 μm . A leitura foi realizada através de um analisador de carbono orgânico total *TOC-V* da *Shimadzu* (e *ASI-V* da *Shimadzu*) [93].

3.3.6. Carência Bioquímica de Oxigénio

A Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO_5) determina o oxigénio consumido na degradação de matéria orgânica carbonada. Apesar da degradação de matéria orgânica ser um processo lento, ao fim de 5 dias já está oxidada cerca de 60 a 70% da matéria orgânica, pelo que é considerado este período de tempo. O oxigénio consumido pelos microrganismos durante a oxidação da matéria orgânica leva à libertação de CO_2 , que é absorvido pelo NaOH presente no sistema.

O CBO_5 foi determinado através do método respirométrico [94], num sistema *WTW OxiTop®* em condições controladas de temperatura, iluminação e agitação contínua em placa *WTW OxiTop®IS 12*, durante um período de incubação de 5 dias.

3.3.7. Carência Química de Oxigénio

O método para a determinação da Carência Química de Oxigénio (CQO) baseia-se na ebulição da amostra, na presença de ácido sulfúrico, dicromato de potássio e um catalisador (sulfato de prata), em meio fortemente ácido, obtido pela adição de ácido sulfúrico [93]. Ao fim de 2 h a 148 ± 3 °C no digestor *WPA Hydrocheck HC 6016*, as amostras são retiradas da placa de aquecimento, deixadas arrefecer a temperatura ambiente e é lida a absorvância a 600 nm, em células de quartzo, no espectrofotómetro *Pharmacia Biotech Ultrospec 2000a*. Por fim, a Carência Química de Oxigénio foi calculada diretamente a partir da reta de calibração de hidrogenoftalato de potássio e expressa em mg L^{-1} .

3.3.8. Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica (CE) determinou-se com recurso a um condutivímetro *METROHM 660*.

3.3.9. Durezas total, cálcica e magnésiana

As durezas medem a quantidade de iões cálcio e magnésio presentes nas amostras e foram efetuadas através do método de titulação com ácido etilenodiaminotetracético - EDTA. A determinação da dureza total realiza-se através do indicador Negro de Eriocromo T e a dureza cálcica através do indicador Calcon. Na presença de iões cálcio e magnésio, a solução torna-se cor-de-rosa/avermelhada e ao titular com EDTA, o cálcio e magnésio presentes formam complexos, alterando a cor da solução para azul [93]. As durezas total e cálcica foram calculadas diretamente a partir das equações seguintes (11) e (12), tendo em conta o título da concentração do titulante e, por fim, a dureza magnésiana foi calculada pela diferença entre a dureza total e a cálcica.

$$mg CaCO_3 L^{-1} = \frac{V-V' * [EDTA] * 100,09 * 1000}{V amostra} \quad (11)$$

$$mg Ca^{2+} L^{-1} = \frac{V-V' * [EDTA] * 40080}{V amostra} \quad (12)$$

onde V corresponde ao volume de EDTA titulado em mL, V' ao volume de EDTA titulado para o branco em mL, $[EDTA]$ corresponde à concentração exata de titulante e $V amostra$ corresponde ao volume de amostra em mL.

3.3.10. Fenóis totais

A quantificação dos fenóis totais foi determinada pelo método de Folin-Ciocalteu que se baseia na redução do complexo molibdénio-tungstato-fósforo, formado pela adição de uma solução aquosa de Folin-Ciocalteu à amostra [95]. As absorvâncias foram lidas em célula de quartzo, a 740 nm, com recurso a um Espectrofotómetro UV-visível *EVOLUTION One* da *Thermo Cientific*. A quantidade de fenóis totais foi calculada a partir da reta de calibração de ácido gálico e expressa em mg L⁻¹.

3.3.11. Fósforo total

O conteúdo de fósforo total foi determinado pelo método espectrofotométrico que se baseia na reação entre os ortofosfatos e o vanadato-molibdato, onde os polifosfatos e fosfatos orgânicos presentes são previamente convertidos em ortofosfatos, desenvolvendo uma cor amarela [93]. Por este método, as amostras foram calcinadas a 600 °C numa mufla *P Select-Horn* e, de seguida, digeridas com ácido clorídrico 6 M. Por fim, foram lidas as absorvâncias a 470 nm, utilizando um espectrofotómetro UV-visível *Pharmacia Biotech Ultrospec 2000*. Sendo a intensidade da cor diretamente proporcional à concentração de fosfatos presentes, a quantidade de fósforo total foi calculada a partir da reta de calibração de fosfato monopotássico e expressa em mg L⁻¹.

3.3.12. Metais

Os metais (crômio, manganês, ferro, níquel, zinco, cádmio, chumbo e arsênio) foram analisados por Espectrofotometria de absorção atômica, em colaboração com uma das bolsistas do Projeto NETA (POCI-01-0247-FEDER-046959), recorrendo a um fotómetro *Sherwood Model 410*.

3.3.13. Microbiologia

Quanto aos ensaios microbiológicos, foi realizada a contagem de *Escherichia coli* (E. Coli) onde é contabilizado o número de células viáveis por 100 mL de água, através do método ISSO 16649-2:2001 – *Microbiology of food and animal feeding stuffs*; a contagem dos ovos de parasitas intestinais, onde se contabiliza o número de ovos por litro de água, por contagem direta ao microscópio e os coliformes fecais e totais, onde é contabilizado o número de células viáveis por 100 mL de água, sendo a contagem feita pelo Número Mais Provável (NMP). As análises microbiológicas, inseridas no Projeto NETA (POCI-01-0247-FEDER-046959), foram realizadas pela responsável do Laboratório de Microbiologia do IPBeja.

3.3.14. Nitratos

A determinação dos nitratos foi realizada pelo método do salicilato, onde ocorre formação de iões NO_2^+ ao reagir com salicilato, formando-se um composto de cor amarela [96]. A intensidade da coloração foi determinada por leitura num espectrofotómetro *Pharmacia Biotech Ultrospec 2000*, ao comprimento de onda de 420 nm. A quantidade de nitratos foi calculada a partir da reta de calibração e expressa em mg L^{-1} .

3.3.15. Nitritos

Os nitritos foram determinados através da reação entre o N-(1-naftil)-etilenodiamina dihidroclorética e a sulfanilamida, formando um composto de cor púrpura [96]. O ião nitrito foi determinado por medição da intensidade da coloração do composto púrpura, por leitura num espectrofotómetro UV-visível *Pharmacia Biotech Ultrospec 2000* a 540 nm. A quantidade de nitritos foi calculada a partir da reta de calibração e expressa em mg L^{-1} .

3.3.16. pH

O pH foi determinado por métodos potenciométricos, utilizando um medidor de pH *WTW inoLab* e elétrodo *WTW SenTix 41*.

3.3.17. Potássio e Sódio

A determinação de potássio e de sódio foi feita por fotometria de chama, recorrendo a um fotómetro *Sherwood Model 410* [93]. Os resultados foram obtidos a partir da reta de calibração e expressos em mg L^{-1} .

3.3.18. Sólidos Suspensos Totais

Os Sólidos Suspensos Totais (SST) foram determinados por filtração a vácuo, com filtro de *Whatman* 1,5 μm de poro, tendo em conta a massa da amostra inicial e final. São considerados

sólidos suspensos toda a matéria que permanece no filtro como resíduo após a evaporação e secagem de uma amostra a 105 °C [93].

3.3.19. Turvação

A turvação foi determinada com recurso a um turbidímetro *HI88713 – ISSO da HANNAH instruments* e o resultado foi calculado a partir da reta de calibração de formazina.

3.4. Preparação das soluções nutritivas

Procedimento para o tratamento da água ruça por processo IOSLP [60]:

1. Preparar uma solução de cal hidratada 200 g L⁻¹
2. Colocar uma quantidade exata de água residual num copo com magnete de agitação
3. Colocar o copo numa placa de agitação
4. Com a placa de agitação ligada a 700 – 800 rpm, adicionar a quantidade calculada de solução de cal hidratada
5. Deixar agitar durante 1 minuto
6. Confirmar valor de pH
7. Retirar o copo da placa e deixar sedimentar as lamas durante 24 h
8. Separar a água tratada das lamas geradas

Após o tratamento da água ruça e o ajuste do seu pH com ácido nítrico, foi preparada a solução nutritiva final destinada à rega e alimentação das alfaces. Para tal foram comparados os valores nutritivos desta água tratada com os valores de uma água ideal para rega de alfaces, com base nos quais se preparou também a solução controlo.

3.4.1. Solução controlo

A solução controlo tem a seguinte composição: 480 mg L⁻¹ de nitrato de potássio, 510 mg L⁻¹ de nitrato de cálcio, 300 mg L⁻¹ de fosfato monopotássico, 80 mg L⁻¹ de sulfato de magnésio e 1,5 ml L⁻¹ de adubo líquido N-P-K (5-8-10) da marca *Genyen*, de acordo com Almeida et al. [97]. A solução controlo foi idealmente substituída a cada duas semanas, sendo preparados 30 L de cada vez. A cada substituição foram monitorizados alguns parâmetros, tais como pH, CE, alcalinidade, CQO, CBO₅, dureza, fósforo total, azoto e TOC, tanto à água de entrada (nova) como à água de saída.

3.4.2. Solução OMW nutritiva

Para a preparação da solução nutritiva teste, foi primeiro feita uma diluição de 1:2 da água ruça tratada e analisaram-se os seus parâmetros físico-químicos. De seguida, tendo em conta os nutrientes em falta, a água foi suplementada com 0,06 g L⁻¹ de sulfato de magnésio, 0,3 g L⁻¹ de fosfato monopotássico e 1,5 ml L⁻¹ de adubo líquido N-P-K (5-8-10) da marca *Genyen*, baseada em Almeida et al. [97]. A solução foi idealmente substituída a cada duas semanas, sendo preparados 30 L de cada vez. A cada substituição foram monitorizados alguns parâmetros, tais

como pH, CE, alcalinidade, CQO, CBO₅, dureza, fósforo total, azoto e TOC, tanto à água de entrada (nova) como à água de saída.

3.5. Montagem e caracterização do sistema hidropónico

3.5.1. Construção do sistema hidropónico

O sistema hidropónico, do tipo NFT com gotejamento (*Drip System*) foi montado dentro de uma pequena estufa construída com ferros e coberta com lona de rede e plástico transparente para proteger da chuva e do vento e prevenir a entrada de animais. No interior da estufa foram colocados, em cima de paletes, 4 tubos de PVC (Policloreto de vinila) com inclinação de 0,3%, com 252 cm de comprimento e 9,5 cm de diâmetro. Em cada tubo foram feitos 11 furos com 6,5 cm de diâmetro e 21,5 cm de espaçamento, sendo colocada uma alface por furo. A cada tubo foi também acrescentada uma mangueira com 11 gotejadores, com entrada e saída na mesma extremidade, sendo a mangueira de entrada ligada a uma bomba para bombear a água pelo sistema. No mesmo lado foram colocados 2 baldes de 30 L, um para cada solução nutritiva, onde se armazenou a água para a alimentação. As bombas foram ligadas a um temporizador que funcionava de 30 em 30 minutos, entre as 8 e as 20 horas. No interior de cada tubo foram colocadas as matrizes de suporte, sendo estas leca *Argex*® arredondada, com diâmetros entre os 8 e os 16 mm e caroço de azeitona triturado, adquirido no mesmo lugar da água ruça. As **Figuras 7, 8, 9 e 10** representam a descrição do sistema acima referido.



Figura 7 - Estufa utilizada para proteção do sistema hidropónico.



Figura 8 - Interior de um tubo com leca como matriz de suporte.



Figura 9 - Interior de um tubo com caroço de azeitona como matriz de suporte.



Figura 10 - Demonstração da montagem do sistema hidropônico.

A cada um dos quatro tubos do sistema foi dada a seguinte identificação:

OMW + C: solução nutritiva de água ruça tratada e matriz de suporte de caroço de azeitona.

OMW + L: solução nutritiva de água ruça tratada e matriz de suporte de leca.

SC + C: solução nutritiva controlo e matriz de suporte de caroço de azeitona.

SC + L: solução nutritiva controlo e matriz de suporte de leca.

3.5.2. Caudal

Para a determinação do caudal de entrada foi medido o volume de água pingado de cada gotejador durante um minuto e foi feita a soma do resultado dos 11 gotejadores. A **Tabela 6** mostra os resultados do caudal de entrada por gotejador, expressos em mL min⁻¹.

Tabela 6 - Caudal de entrada para cada sistema.

OMW + C	OMW + L	SC + C	SC + L
754 mL min ⁻¹	792 mL min ⁻¹	576 mL min ⁻¹	632 mL min ⁻¹

Para a determinação do caudal de saída foi medido o volume de água que saiu pela extremidade de cada tubo, durante um minuto. A **Tabela 7** apresenta os resultados do caudal de saída total, expressos em mL min⁻¹.

Tabela 7 - Caudal de saída para cada sistema.

OMW + C	OMW + L	SC + C	SC + L
640 mL min ⁻¹	820 mL min ⁻¹	650 mL min ⁻¹	700 mL min ⁻¹

3.5.3. Densidade aparente e volume dos vazios das matrizes de suporte

Pode observar-se na **Figura 11** que, para a determinação da densidade aparente da matriz de suporte, colocou-se água numa proveta de 500 mL (A) e noutra proveta de 500 mL foram colocados 100 g de matriz de suporte previamente lavada (B). De seguida transferiu-se a água da proveta (A) para a proveta (B) até perfazer 500 mL. Verificando quanto volume de água foi transferido da proveta (A) para a (B), calculou-se a densidade aparente. O ensaio foi realizado em triplicado e o cálculo feito a partir da média das três réplicas, através da seguinte equação (13):

$$densidade(kg\ m^{-3}) = \frac{massa\ de\ matriz\ (kg)}{volume\ de\ água\ transferido\ (m^3)} \quad (13)$$

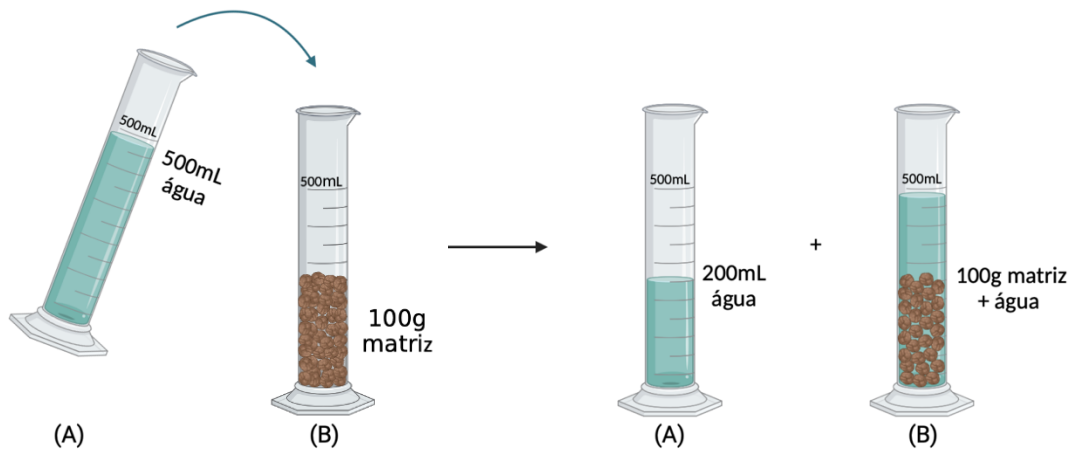


Figura 11 - Esquema da determinação da densidade aparente das matrizes de suporte.

O volume dos vazios indica o espaço que pode ser ocupado pela solução nutritiva, estando relacionado com o grau de oxigenação no sistema e está representado na **Figura 12**. Foi determinado enchendo uma proveta de 1 L com cada uma das matrizes e de seguida perfazendo-a com água até à superfície da matriz. O volume de água que coube na proveta corresponde ao volume dos vazios e foi calculado de acordo com a seguinte equação (14):

$$\text{volume dos vazios (\%)} = \frac{\text{volume de água gasto (mL)}}{\text{volume da proveta (mL)}} * 100 \quad (14)$$

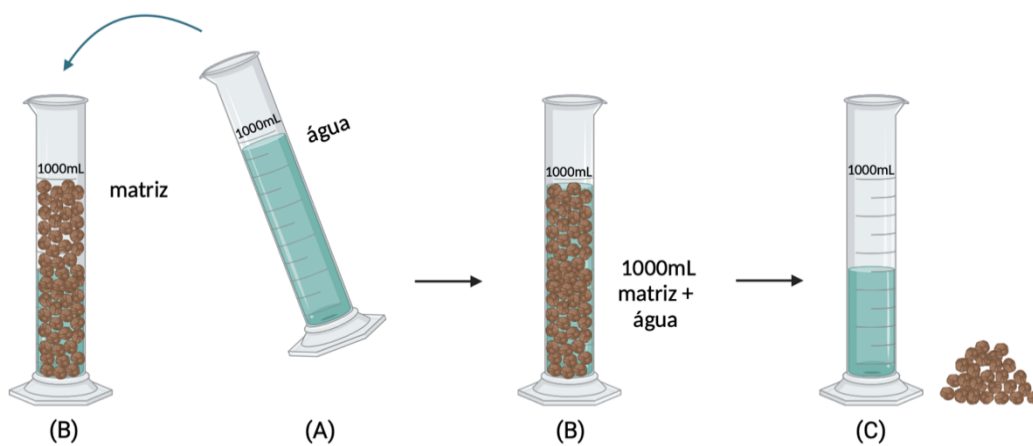


Figura 12 - Esquema da determinação do volume dos vazios das matrizes de suporte.

Os resultados da determinação da densidade aparente e volume dos vazios são apresentados na **Tabela 8**.

Tabela 8 - Densidade aparente e volume dos vazios das matrizes de suporte.

	Caroço de azeitona triturado	Leca
Densidade aparente (kg m⁻³)	240,380	337,075
Volume dos vazios (%)	36,3	46,3

3.5.4. Substituição das soluções nutritivas

A 2 de março de 2022, foram preparadas ambas as soluções nutritivas, inicialmente para um volume final de 20 L, sendo denominadas “Entrada 1”. Ao fim de uma semana colheu-se uma amostra de cada uma das soluções nutritivas, sendo denominada “Saída 1” e as soluções foram repostas, sendo preparados mais 10 L, que foram adicionados à quantidade de solução nutritiva restante da semana anterior, denominada “Entrada 2”.

Ao concluir que a água “Entrada 2” acabou por ser demasiado alterada, por se ter misturado com a água “Entrada 1”, pré-existente no depósito e que seria possível prolongar a permanência de uma mesma solução nutritiva no depósito, por mais do que uma semana, passou a substituir-se completamente ambas as soluções, a cada duas semanas.

Assim, aos dias 16 e 30 de março e a 13 de abril, prepararam-se 30 L de cada solução nutritiva, sendo denominadas “Entrada 3”, “Entrada 4” e “Entrada 5”, respetivamente.

A **Tabela 9** apresenta o funcionamento da substituição das soluções nutritivas ao longo do ensaio.

Tabela 9 - Datas de reposição ou substituição das soluções nutritivas.

Entrada	Data	Volume preparado
1	2/março/2022	20 L por depósito
2	9/março/2022	Reposição com 10L por depósito
3	16/março/2022	Substituição completa com 30L por depósito
4	30/março/2022	Substituição completa com 30L por depósito
5	13/abril/2022	Substituição completa com 30L por depósito

A cada reposição ou substituição foi recolhida uma amostra de cada depósito para análise, sendo estas denominadas “Saída 1” até “Saída 5”, sendo a última recolhida a 20/abril/2022, uma vez que o tempo de crescimento das alfaces foi de 49 dias, i.e., 7 semanas.

3.6. Aquisição e monitorização das alfaces

As alfaces, de variedade *Lactuca sativa crispera*, foram adquiridas em março de 2022, através de um produtor local, em Beja, estando, após lavagem das raízes, prontas a transplantar (**Figura 13**).

Ao longo do período de crescimento das alfaces, semanalmente ou a cada duas semanas, até ao dia da colheita, vários parâmetros foram monitorizados, tais como a temperatura da estufa, a clorofila, o número de folhas, diâmetro e altura das alfaces.



Figura 13 - Alface antes de ser colocada no sistema hidropónico.

3.6.1. Condições na estufa

A temperatura da estufa foi monitorizada todas as manhãs, através de um termómetro digital da marca *Auriol*. A evaporação foi monitorizada todas as semanas, recorrendo a uma proveta de 1 L contendo água, que permaneceu no interior da estufa durante todo o ensaio.

3.6.2. Monitorização das alfaces

Ao longo do crescimento das alfaces foram monitorizados vários parâmetros para perceber como o tipo de solução nutritiva e a matriz de suporte no sistema teriam impacto no seu desenvolvimento. O número de folhas foi contabilizado semanalmente, sendo contada manualmente cada folha de cada alface. A altura e diâmetro foram monitorizados de duas em duas semanas com recurso a uma fita métrica. A altura foi medida apenas até as alfaces começarem a abrir, uma vez que com a sua abertura e aumento peso das folhas, este parâmetro deixa de ser completamente verdadeiro. Já o diâmetro só começou a ser medido quando as alfaces abriram (ao fim de 1 semana). A clorofila foi medida semanalmente, escolhendo uma folha ao acaso de cada alface, com recurso a um medidor de clorofila *SPAD 502* da *MINOLTA*.

3.7. Caracterização físico-química das alfaces após colheita

Ao longo do período de cultivo foram avaliados o número de folhas, altura, diâmetro e clorofila. Aquando da colheita, para além dos parâmetros referidos anteriormente, também foram tidas em conta outras características:

A medição da área foliar foi realizada com a recurso a um medidor de área *LI-COR® LI-3100C*. Para tal foi colocada uma folha de cada vez no aparelho, tendo sido utilizadas 9 folhas de alface de cada sistema, para garantir a representatividade das alfaces, sendo o resultado correspondente à soma da área das 9 folhas, em cm².

O peso fresco das alfaces e respetivas raízes foi determinado logo após a sua colheita, com recurso a uma balança de cozinha digital *PC-KW 1061* da *ProfiCook*. A determinação do extrato seco foi efetuada com recurso a uma estufa *Memmert*, pesando-se inicialmente a amostra fresca utilizando uma balança *Mettler AE 100*, e após 48 h a 70 °C voltou-se a pesar, correspondendo a diferença entre massas à humidade e a restante percentagem ao resíduo seco.

A determinação das cinzas foi realizada colocando as amostras em cadinhos numa mufla *P Select-Horn* a 550 °C durante 6 h. As amostras foram pesadas antes e depois do procedimento, sendo que a massa de alface após a ida à estufa corresponde às cinzas.

O pH foi determinado por métodos potenciométricos, utilizando um medidor de pH *WTW inoLab* e elétrodo *WTW SenTix 41*. A condutividade elétrica determinou-se com recurso a um condutivímetro *METROHM 66*.

Para determinar as clorofilas a e b e os carotenóides, aplicou-se o método espectrofotométrico, de acordo com Chen et al. [98], com recurso a um espectrofotómetro *Pharmacia Biotech Ultraspec 2000*, sendo as leituras efetuadas às absorvâncias de 663 nm, 645 nm e 470 nm, respetivamente.

Para avaliação da acidez titulável (ATT) pesou-se 1 g de alface triturada e juntou-se a 29 mL de água destilada. De seguida mediu-se o pH inicial de cada amostra e tomou-se nota do volume de NaOH necessário para alcançar um valor de pH de 8.1. O resultado da ATT é expresso em percentagem de ácido cítrico. Relacionando este parâmetro com a percentagem de resíduo seco, obteve-se a acidez expressa em percentagem de resíduo seco.

Para a determinação dos sólidos solúveis nas alfaces, que avalia a quantidade de açúcares presentes, as alfaces foram previamente trituradas e centrifugadas utilizando uma centrifuga *Mikro 200*. Posteriormente foi utilizado um refratómetro digital manual da *Bellingham and Stanley* que apresentou o resultado em graus Brix (°Brix), sendo que um °Brix corresponde a 1 g de açúcar em 100 mL de solução aquosa.

Para determinar o conteúdo de Na e K presente nas alfaces recorreu-se a um fotómetro *Sherwood Model 410*, sendo que as amostras foram previamente secas na mufla a 550 °C e de seguida

digeridas com ácido clorídrico 3 N. As concentrações foram calculadas a partir da reta de calibração e expressas em mg L⁻¹ e posteriormente convertidas para mg g⁻¹, através da massa fresca das amostras.

3.8. Análise estatística

Os resultados dos parâmetros analisados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as suas médias foram comparadas através do Teste Tukey HDS com uma significância de 0,05, recorrendo ao programa STATISTICA 12,0.

4. Resultados e discussão

4.1. Estudo do tratamento da água

4.1.1. Precipitação química básica

A **Figura 14** mostra os valores de pH e CE em função da quantidade da solução de cal hidratada (200 g L^{-1}) adicionada à água ruça, nos 3 ensaios realizados.

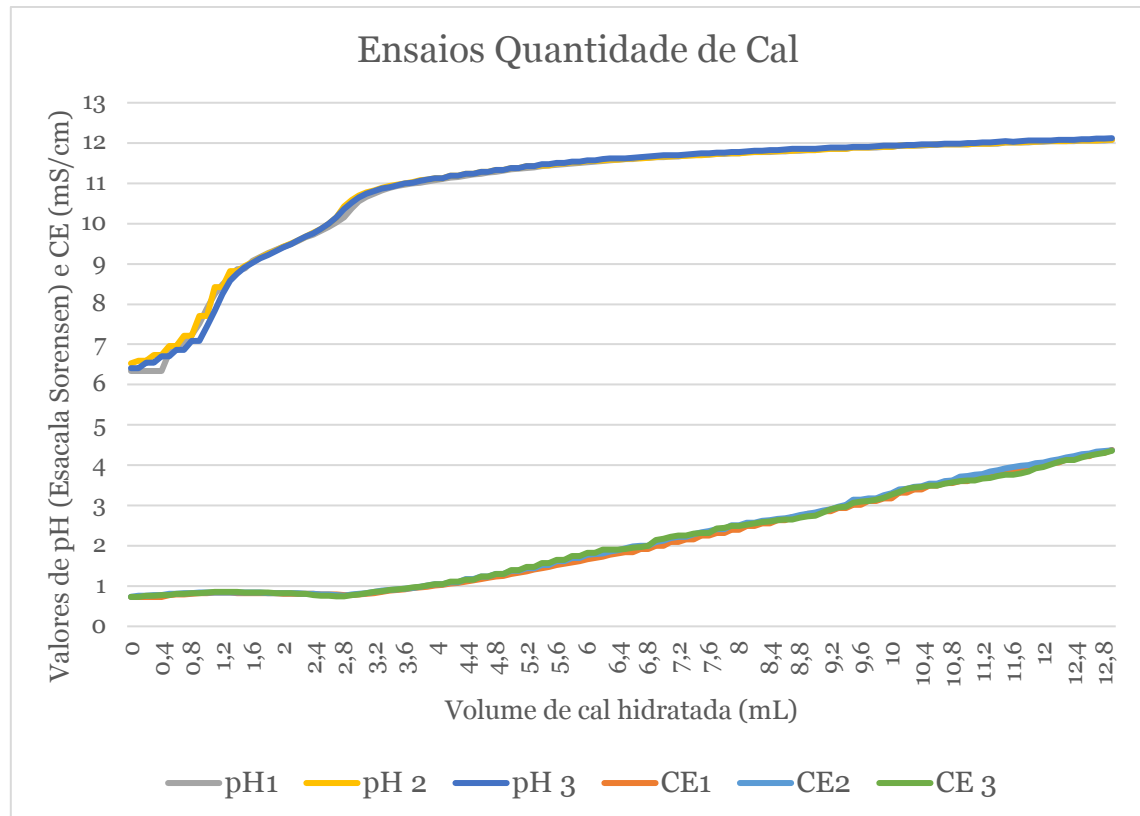


Figura 14 - Valores de pH e CE em função da quantidade de solução de cal hidratada (200 mg L^{-1}) adicionada à água ruça.

Posteriormente também se adicionaram diferentes quantidades (entre 2 a 20 mL) de solução de cal hidratada, alcançando os valores de pH 11, 11,5, 12 e 12,5, com o objetivo de observar o comportamento do tratamento. A **Figura 15** mostra o resultado deste ensaio, sendo que a olho nu, os copos **d)** e **e)** mostraram melhor resposta, uma vez que a cor, transparência e o odor da água foram os mais alterados positivamente, bem como o nível de criação de aglomerados ao observar a sedimentação das lamas formadas no processo de tratamento.

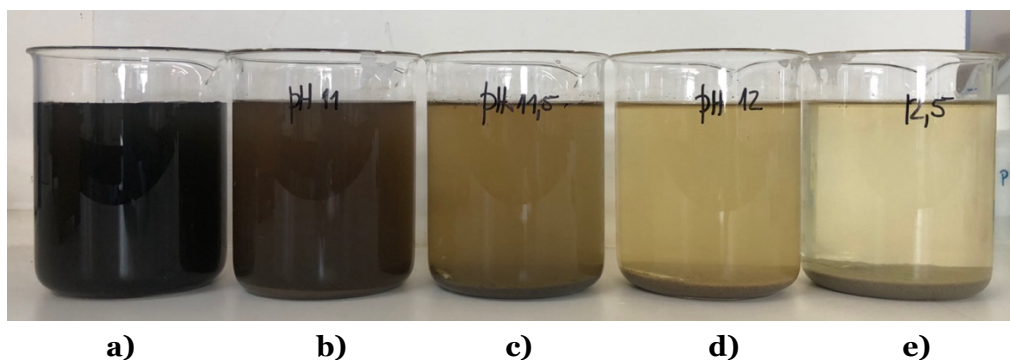


Figura 15 - Água ruça bruta (a) e tratada com diferentes valores de pH finais: pH 11 (b), 11,5 (c), 12 (d) e 12,5 (e).

Apesar do aspeto positivo do tratamento **e)**, para alcançar um pH de 12,5, são necessários 20 mL de solução de cal hidratada por litro de efluente o que, em larga escala, não seria viável. Para além disso, após o tratamento, este ensaio produziu uma grande quantidade de lamas e alcançou um valor de CE de $5,54 \text{ mS cm}^{-1}$, valor não aconselhado para a reutilização de águas em rega. Nestes ensaios de efluente tratado a diferentes valores de pH final foram também analisados o SST (**Figura 16**). Ao observar a **Tabela 10** é possível concluir que a melhor remoção de SST foi alcançada no ensaio **d)**, a um pH final de 12, obtendo-se uma taxa de remoção de sólidos de 74%, comparativamente a 24%, 18% e 19%, para os ensaios **b)**, **c)** e **e)**, respetivamente.

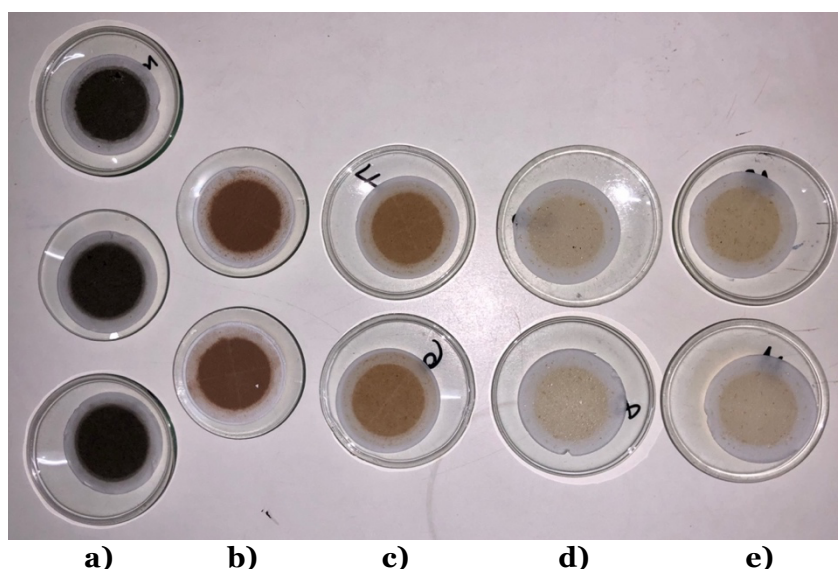


Figura 16 - Filtros após a análise aos SST. Da esquerda para a direita, amostras bruta e a pH 11, 11,5, 12 e 12,5.

Tabela 10 - Sólidos Suspensos Totais do efluente bruto e dos efluentes tratados com diferentes valores pH final.

	Bruta	pH 11	pH 11,5	pH 12	pH 12,5
SST (mg L^{-1})	223 ± 63	169 ± 77	182 ± 8	58 ± 14	180 ± 16
Percentagem de remoção (%)		24	18	74	19

Após analisar as curvas de tratamento (**Figura 14**) e os resultados dos SST (**Tabela 10**) foi possível concluir que o equilíbrio ideal entre o valor de pH e de CE para tratar esta água seria com aplicação de 11 mL de solução de cal hidratada por L de água ruça, onde o pH alcança um valor próximo de 12 e a CE é inferior a 4 mS cm⁻¹.

Procedeu-se então à tentativa, em triplicado, de tratar 1 L de água ruça com a quantidade ideal de solução de cal hidratada de uma só vez (**Figura 17**). Com um pH inicial de 6,61, 6,58 e 6,46, ao adicionar 11 mL de solução de cal hidratada, e ao fim de 1 min em agitação, obtiveram-se águas tratadas com os valores de pH 11,87 e CE 2,95 mS cm⁻¹, pH 11,83 e CE 2,80 mS cm⁻¹ e pH 11,93 e CE 2,90 mS cm⁻¹, respetivamente.

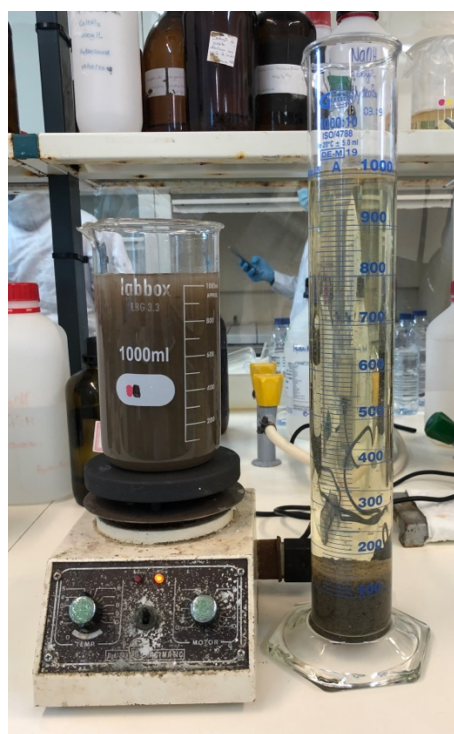


Figura 17 - Comparação entre água bruta e tratada. No copo à esquerda 1 L de água ruça bruta e à direita uma proveta de 1 L de água após o tratamento com 11 mL de solução de cal hidratada.

4.1.2. Sedimentação

Na **Figura 18** é possível observar o volume de lama sedimentada após o tratamento em função do tempo para as 3 repetições. Concluiu-se que ao fim de 24 horas a sedimentação se encontra finalizada, podendo ser feita a separação da amostra sobrenadante (água tratada) das lamas resultantes do processo de tratamento.

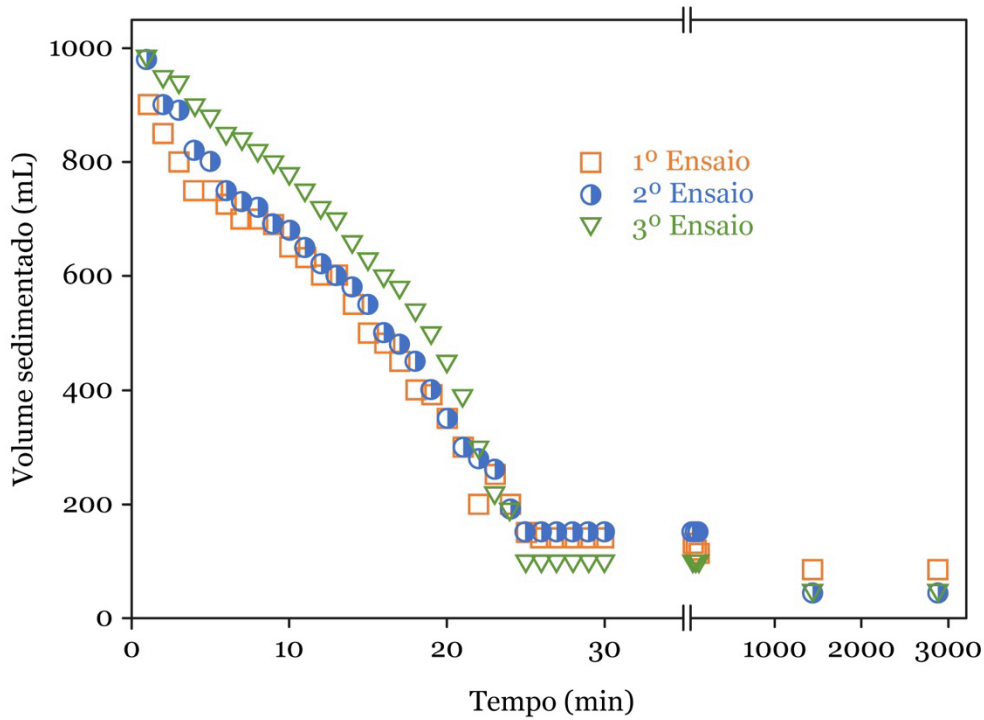


Figura 18 - Variação do volume sedimentado após o tratamento em função do tempo.

4.1.3. Acerto de pH com ácido nítrico

Como é possível observar na **Figura 19**, ao adicionar pequenas quantidades de ácido nítrico de cada vez, foi possível perceber que a quantidade ideal para a diminuição de pH (até um valor aproximado de 6) neste ensaio, onde se utilizaram 200 mL de amostra, seria 220 μL de ácido, o que corresponde a 1,1 mL de ácido nítrico por litro de água ruça tratada.

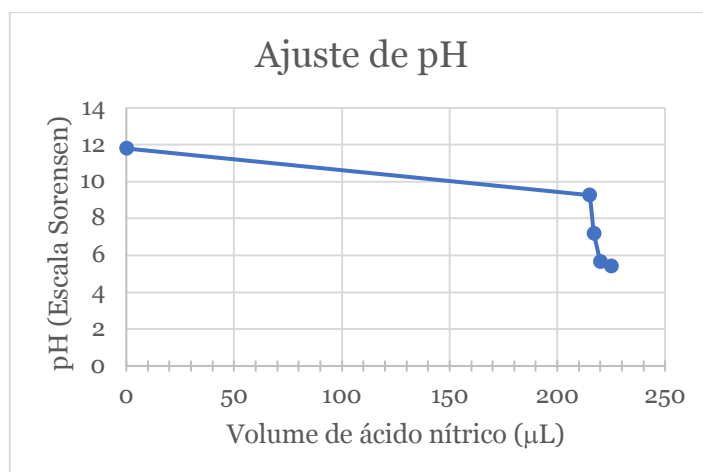


Figura 19 - Avaliação da diminuição do valor de pH em função do volume de ácido nítrico adicionado.

4.1.4. Diluição da água ruça tratada para utilização como solução nutritiva

Uma vez que a água tratada após o ajuste de pH apresentava uma condutividade superior a $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ e para garantir que todos os parâmetros legislados para água apta para rega seriam respeitados, efetuou-se uma diluição com água destilada de maneira a alcançar um valor de CE próximo de $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$, nunca acima de $3,0 \text{ mS cm}^{-1}$ ou abaixo de $0,8 \text{ mS cm}^{-1}$ [99], ideal para o cultivo de alfaces. Para tal colocaram-se 100 mL de água tratada com pH previamente ajustado num copo e, tendo em conta a variação de CE, foi-se adicionando 100 mL de água de cada vez, sendo que a primeira adição de 100 mL corresponderia a uma diluição de 1:2, a adição de 200 mL a uma diluição de 1:3, e assim sucessivamente. A **Figura 20** mostra a variação do valor de CE em função da adição de água destilada, concluindo que o valor mais adequado ($\text{CE} = 1,281 \text{ mS cm}^{-1}$) corresponde a uma diluição de 1:2.

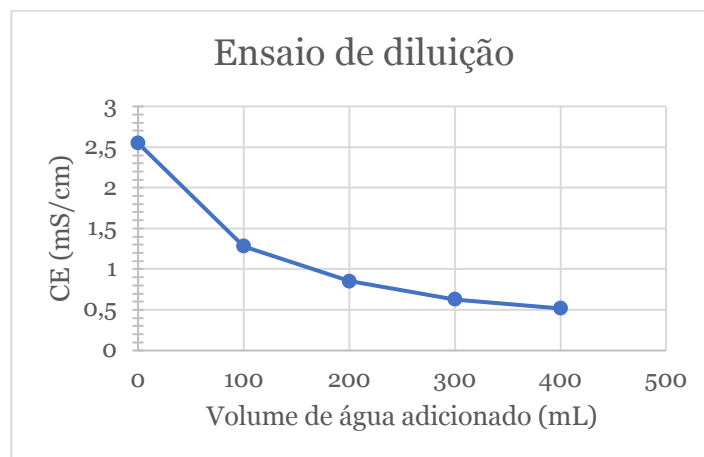


Figura 20 - Variação da CE em função do volume de água adicionado.

4.2. Aplicação do tratamento à escala piloto

Após conclusão dos ensaios realizados no subcapítulo 4.1 procedeu-se à aplicação do tratamento e ajuste de pH da água ruça à escala piloto. A água ruça bruta foi colocada num recipiente de PEAD e de seguida adicionaram-se de uma só vez 11 mL L^{-1} de solução de cal hidratada (200 mg L^{-1}), em agitação muito rápida, durante 1 minuto. Passadas cerca de 24 h de sedimentação completa das lamas, separou-se o sobrenadante e procedeu-se à diminuição do seu pH com $1,1 \text{ mL L}^{-1}$ de ácido nítrico. Por fim, armazenou-se em recipientes de PET (Politereftalato de etileno) parte da água tratada para análise (OMW tratada) e a restante ficou no recipiente de PEAD, para vir a ser suplementada e utilizada no sistema hidropónico (OMW nutritiva), à medida que a solução nutritiva fosse sendo substituída.

4.3. Caracterização físico-química da água bruta e tratada

Tabela 11 - Caracterização da água bruta (OMW bruta), tratada (OMW tratada), suplementada e com ajuste de pH a ser utilizada no sistema hidropónico (OMW nutritiva) e da solução controlo (controlo). Valores são médias \pm desvio padrão $n \geq 3$.

	OMW bruta	OMW tratada	OMW nutritiva	Controlo
pH (Escala Sorensen)	6,50 \pm 0,02	12,20 \pm 0,03	6,60 \pm 0,04	6,20 \pm 0,02
CE (mS cm⁻¹)	0,90 \pm 0,02	2,60 \pm 0,01	2,30 \pm 0,02	2,80 \pm 0,01
SST (mg L⁻¹)	(2,2 \pm 0,6)*100	(3 \pm 2)*10	(1,2 \pm 0,6)*10	38 \pm 9
CQO (mg L⁻¹)	(1,50 \pm 0,03)*1000	(1,8 \pm 0,2)*100	(1,0 \pm 0,2)*100	0
CBO₅ (mg L⁻¹)	35 \pm 3	2,7 \pm 0,6	9 \pm 1	ND
TOC (mg L⁻¹)	287 \pm 2	189 \pm 2	31,7 \pm 0,5	33,6 \pm 0,6
IC (mg L⁻¹)	16 \pm 2	16 \pm 7	28,9 \pm 0,3	5,8 \pm 0,4
TC (mg L⁻¹)	303,06 \pm 0,09	205 \pm 4	60,6 \pm 0,8	39 \pm 1
TN (mg L⁻¹)	3,9 \pm 0,3	3 \pm 2	184 \pm 3	231 \pm 3
Ca²⁺ (mg L⁻¹)	49,2 \pm 0,8	327 \pm 4	138 \pm 7	(9 \pm 12)*10
Mg²⁺ (mg L⁻¹)	(1,2 \pm 0,3)*100	14 \pm 2	4,1 \pm 0,2	5,0 \pm 0,2
P total (mg L⁻¹)	84 \pm 4	2 \pm 1	146 \pm 8	(1,3 \pm 0,1)*100
CO₃²⁻ (mg L⁻¹)	0	(2,7 \pm 0,2)*100	0	0
HCO₃⁻ (mg L⁻¹)	(2,9 \pm 0,1)*100	9 \pm 1	(2,3 \pm 0,3)*100	96 \pm 0
Alcalinidade (mg L⁻¹)	237 \pm 9	(9,7 \pm 0,2)*100	(1,9 \pm 0,2)*100	79 \pm 0
Na⁺ (mg L⁻¹)	115,0 \pm 0,1	50,4 \pm 0,1	34 \pm 0,1	30 \pm 1
K⁺ (mg L⁻¹)	(1,31 \pm 0,04)*1000	74 \pm 1	261 \pm 5	(4,0 \pm 0,2)*100
NH₄⁺ (mg L⁻¹)	301 \pm 1	0	13 \pm 1	14 \pm 1
TKN (mg L⁻¹)	220 \pm 3	0	49 \pm 4	42 \pm 4
NO₃⁻ (mg L⁻¹)	2,5 \pm 0,1	0,8 \pm 0,1	185 \pm 5	(8,1 \pm 0,2)*100
NO₂⁻ (mg L⁻¹)	0,02 \pm 0	0,03 \pm 0	44,0 \pm 0,3	0,06 \pm 0,01
Turvação (NTU)	417 \pm 8	0,30 \pm 0,03	0,3 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1
Fenóis Totais (mg L⁻¹)	56 \pm 2	13,0 \pm 0,3	2,3 \pm 0,1	ND
Coliformes totais (ufc/100mL)	93	0	ND	ND
Coliformes fecais (ufc/100mL)	9,1	0	ND	ND
E. coli (ufc/100mL)	9,1	0	ND	ND
Cr (ppb)	2,3 \pm 0,3	<LQ	ND	ND
Mn (ppb)	139,0 \pm 1,7	<LQ	ND	ND
Fe (ppb)	(3,4 \pm 0,2)*1000	(6,2 \pm 0,6)*100	ND	ND
Ni (ppb)	(2,0 \pm 0,1)*100	179 \pm 1	ND	ND
Zn (ppb)	(3,4 \pm 0,2)*100	128 \pm 4	ND	ND
Cd (ppb)	<LQ	<LQ	ND	ND
Pb (ppb)	26,4 \pm 0,4	22,0 \pm 0,8	ND	ND
As (ppb)	<LQ	<LQ	ND	ND

ND (Não determinado); LQ (Limite de quantificação)

Tabela 12 - Percentagens de remoção após o tratamento.

Parâmetro	Remoção (%)
SST	85,7
CQO	88,2
CBO ₅	92,4
TOC	34,1
Turvação	99,9
Fenóis	76,6
Coliformes fecais	100
E. coli	100

Observando os resultados dos parâmetros analisados na **Tabela 11**, é possível explicar as diferenças entre a água ruça bruta e a tratada. O valor de pH, inicialmente baixo por natureza, aumentou com a aplicação do tratamento com a solução de cal hidratada. O pH básico contribuiu para a eliminação de constituintes tóxicos e de difícil remoção da água bruta. No entanto, um valor de pH elevado não é aconselhável para água de irrigação, uma vez que pode alterar a solubilidade dos nutrientes, dificultando a sua absorção por parte das plantas. A CE está relacionada com a concentração de nutrientes presentes em solução. A adição da solução de cal hidratada levou a um aumento deste parâmetro devido aos íons Ca^{2+} , promovendo assim a remoção de carbono orgânico. Contudo, para a finalidade desejada de reutilização desta água para rega, é aconselhável que não se ultrapasse os 3 mS cm^{-1} , pois uma quantidade excessiva de sais insolúveis na água faz com que a pressão osmótica aumente, dificultando a absorção dos nutrientes pelas raízes. Na **Tabela 12** pode observar-se que foi possível obter uma taxa de remoção de SST superior a 85%. Uma vez que a quantidade de sólidos presentes nas águas para rega é limitada por lei, é importante garantir a sua diminuição considerável quando se trata de uma água bruta com estas características. O índice de biodegradabilidade (IB) relaciona os parâmetros de CQO e CBO₅, indicadores da quantidade de matéria orgânica presente na água. Concentrações elevadas de poluentes orgânicos tornam a água imprópria para rega e até para descarte, sendo prejudicial para o ambiente. O processo de preparação da solução nutritiva a partir de água ruça permitiu um aumento do IB, sendo este de 0,02 para a OMW bruta e 0,09 para a OMW nutritiva. Como seria esperado, o TOC, sendo também um parâmetro que quantifica matéria orgânica, diminuiu após o tratamento, sendo possível obter uma eficiência de remoção de 34%. A turvação e os compostos fenólicos são outros parâmetros importantes a ter em conta quando se trata de reutilização de águas ruças, pois relacionam-se ambos com a presença de matéria indesejada. A turvação pode ser comparada a olho nu, devido ao mau aspeto de uma água bruta, comparativamente a uma água tratada, clarificada, com remoção de cor e compostos poluentes. Uma eficiência de remoção de 99,9% na turvação é ideal para o fim desejado neste trabalho, sendo que, de acordo com as Normas de qualidade de água para reutilização em rega da **Tabela 4**, a turvação não deve exceder os 5 NTU. Já os fenóis, compostos que afetam a biodegradabilidade da água e que são extremamente poluentes se indevidamente usados ou

descartados, devem ser eliminados ou extraídos de uma água que visa ser usada para rega. Com o tratamento IOSLP foi possível obter uma eficiência de remoção de 76,6% em fenóis.

Os íões Ca^{2+} e Mg^{2+} , obtidos na avaliação das durezas, e o íão Na^+ podem relacionar-se entre si através do parâmetro SAR (*Sodium Absorption Ratio*) que descreve a absorção do sódio presente, através da seguinte equação (15):

$$\text{SAR}(\text{meq L}^{-1})^{0,5} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{1/2([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])}} \quad (15)$$

Foram calculados os valores de SAR para cada água a partir das médias apresentadas na **Tabela 11**. A OMW bruta apresentou um valor SAR de 12,50 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$. Uma vez que este parâmetro é indicador da aptidão da água para uso em rega, o seu valor deve ser menor que 10 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$ [59], sendo que valores superiores podem causar danos no cultivo. A OMW tratada alcançou uma diminuição no SAR de 69%, sendo o seu valor de 3,86 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$. Já as OMW nutritiva e a Controlada mantiveram esta tendência, obtendo um SAR de 4,02 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$ e 4,35 $(\text{meq L}^{-1})^{0,5}$, respetivamente.

A alcalinidade é um parâmetro importante a ter em conta, uma vez que auxilia na manutenção do pH da solução nutritiva, garantindo que as plantas têm à sua disposição nutrientes suficientes para o seu crescimento. Para cultivo em hidroponia é aconselhado um valor de alcalinidade total relativamente baixo, próximo de 150 mg L^{-1} , sendo estritamente desaconselhado que o mesmo ultrapasse as 400 mg L^{-1} [100].

Para além de remover matéria orgânica e compostos poluentes, é também importante garantir que a água tem os nutrientes suficientes para o desenvolvimento das alfaces. Azoto, fósforo, sódio e potássio são nutrientes essenciais ao crescimento de alfaces, pelo que é importante remover o seu excesso quando presente na água bruta e garantir a sua adição à água nutritiva, se necessário. De acordo com Prazeres et al. [101], uma água ruça tratada por IOSLP pode conter entre 1,3 e 24,2 mg L^{-1} de azoto na forma amoniacal (NH_4^+), entre 0,6 e 161,9 mg L^{-1} de fósforo, entre 0 e 1042 mg L^{-1} de sódio e entre 15 e 400 mg L^{-1} de potássio. Os valores obtidos nestes parâmetros para as soluções nutritivas utilizadas vão de encontro ao ensaio acima referido. Quanto à concentração de sódio presente na água, de acordo com Carvalho et al. [102], para cultivo em sistemas hidropónicos, este valor pode chegar até às 87 mg L^{-1} sem que seja prejudicial para as alfaces.

4.4. Caracterização das soluções nutritivas ao longo do tempo

Ao longo das 7 semanas de cultivo as soluções nutritivas foram substituídas e analisadas à entrada e saída do sistema. Foram monitorizados parâmetros como o pH, CE, CQO, CBO₅, TOC, durezas, fósforo, azoto, sódio, potássio, nitratos, nitritos, fenóis e turvação. As tabelas seguintes mostram os resultados de entradas e saídas a cada mudança para a OMW nutritiva (**Tabela 13**) e para a

solução controlo (**Tabela 14**). Para além disso, as **Figuras 21 e 22** mostram a variação de pH e CE, que foram medidos diariamente.

Tabela 13 - Caracterização da OMW nutritiva a cada entrada e saída do sistema hidropônico. Valores são médias \pm desvio padrão.

	Entrada 1	Saída 1	Entrada 2	Saída 2	Entrada 3	Saída 3	Entrada 4	Saída 4	Entrada 5	Saída 5
pH (Escala Sorensen)	6,6	6,8	6,9	7,6	7,0	7,6	7,0	6,7	6,9	6,4
CE (mS cm⁻¹)	2,305	1,588	1,840	1,830	1,755	1,280	1,308	1,355	1,310	1,394
CQO (mg L⁻¹)	(1,0 \pm 0,2)*100	(1,7 \pm 0,3)*100	(1,8 \pm 0,4)*100	(1,0 \pm 0,3)*100	(1,0 \pm 0,3)*100	29 \pm 6	43 \pm 9	88 \pm 8	43 \pm 1	133 \pm 7
CBO₅ (mgL⁻¹)	9 \pm 1	15 \pm 0	10,3 \pm 0,6	6 \pm 1	6,3 \pm 1,2	3,3 \pm 0,6	5 \pm 1	1,7 \pm 0,6	2,7 \pm 1,2	1,7 \pm 0,6
TOC (mg L⁻¹)	31,7 \pm 0,5	76 \pm 2	56 \pm 2	58,2 \pm 0,7	23,09 \pm 0,07	39,2 \pm 0,5	20,6 \pm 0,9	52,0 \pm 0,9	34,8 \pm 0,7	54,5 \pm 0,5
IC (mg L⁻¹)	28,9 \pm 0,3	40 \pm 1	45 \pm 2	32 \pm 2	49 \pm 1	10,4 \pm 0,3	47 \pm 2	2,43 \pm 0,07	34,2 \pm 0,9	8,4 \pm 0,7
TC (mg L⁻¹)	60,6 \pm 0,3	117 \pm 3	101,6 \pm 0,2	90 \pm 1	72 \pm 1	49,6 \pm 0,8	67 \pm 2	54,4 \pm 0,8	69,1 \pm 0,2	63 \pm 1
TN (mg L⁻¹)	184 \pm 3	140 \pm 4	153 \pm 1	116 \pm 1	164 \pm 4	104 \pm 3	144 \pm 5	93,2 \pm 0,7	148 \pm 2	86 \pm 4
Ca²⁺ (mg L⁻¹)	138 \pm 7	43 \pm 9	54 \pm 0	58 \pm 1	76 \pm 2	22 \pm 2	102 \pm 3	23 \pm 0	20 \pm 0	21 \pm 3
Mg²⁺ (mg L⁻¹)	4,1 \pm 0,2	9,0 \pm 0,3	6,2 \pm 0,1	0,40 \pm 0,01	19 \pm 2	3,0 \pm 0,1	5,1 \pm 0,2	14,1 \pm 1,4	28,0 \pm 3,2	15 \pm 1
P total (mg L⁻¹)	146 \pm 8	133 \pm 8	141 \pm 9	113 \pm 7	143 \pm 22	51 \pm 0	139 \pm 16	102 \pm 7	150 \pm 2	132 \pm 6
HCO₃⁻ (g L⁻¹)	0,22 \pm 0,03	0,21 \pm 0,05	0,22 \pm 0,02	0,295 \pm 0,009	0,23 \pm 0,01	0,211 \pm 0,009	0,25 \pm 0,02	0,11 \pm 0,01	0,11 \pm 0,01	0,033 \pm 0,004
Alcalinidade (g L⁻¹)	0,19 \pm 0,02	0,17 \pm 0,04	0,18 \pm 0,03	0,242 \pm 0,007	0,18 \pm 0,01	0,173 \pm 0,007	0,20 \pm 0,01	0,089 \pm 0,007	0,09 \pm 0,01	0,027 \pm 0,003
Na⁺ (mg L⁻¹)	34 \pm 0	44 \pm 0	39 \pm 0	42 \pm 3	30 \pm 3	36 \pm 0	36 \pm 0	48 \pm 0	37 \pm 3	53 \pm 0
K⁺ (mg L⁻¹)	261 \pm 5	282 \pm 3	274 \pm 3	263 \pm 0	284 \pm 0	241 \pm 4	243 \pm 0	263 \pm 3	237 \pm 0	287 \pm 3
NH₄⁺ (mg L⁻¹)	13 \pm 1	21,1 \pm 0,7	12,2 \pm 0,5	38,3 \pm 0,2	13,8 \pm 0,2	45,4 \pm 0,5	3,3 \pm 0,2	11,2 \pm 0,2	9 \pm 1	2 \pm 0
TKN (mg L⁻¹)	49 \pm 4	43 \pm 1	49 \pm 2	41 \pm 2	52 \pm 0	37,9 \pm 0,2	38,5 \pm 0,6	13 \pm 1	40 \pm 2	6 \pm 1
NO₃⁻ (mg L⁻¹)	185 \pm 5	139 \pm 21	147 \pm 31	170 \pm 29	183 \pm 2	151 \pm 6	158 \pm 37	375 \pm 71	200 \pm 4	441 \pm 40
NO₂⁻ (mg L⁻¹)	44,0 \pm 0,3	39,6 \pm 0,4	42,4 \pm 0,2	33,5 \pm 0,1	42,5 \pm 0,9	27,9 \pm 0,8	37 \pm 1	16,6 \pm 0,3	35,5 \pm 0,5	1,79 \pm 0,04
Fenóis Totais (mg L⁻¹)	2,3 \pm 0,1	16,9 \pm 0,5	10,9 \pm 0,2	16,4 \pm 0,1	1,9 \pm 0,2	9,4 \pm 0,3	1,4 \pm 0,2	6,8 \pm 0,3	1 \pm 0,1	11,8 \pm 0,5
Turvação (NTU)	0,3 \pm 0,1	0,6 \pm 0,1	0,4 \pm 0,1	28,1 \pm 0,4	0	0,2 \pm 0,1	0,21 \pm 0,01	0,26 \pm 0,01	0	0

Tabela 14 - Caracterização da solução controle (SC) a cada entrada e saída do sistema hidropônico. Valores são médias \pm desvio padrão.

	Entrada 1	Saída 1	Entrada 2	Saída 2	Entrada 3	Saída 3	Entrada 4	Saída 4	Entrada 5	Saída 5
pH (Escala Sorensen)	6,2	7,1	6,9	7,3	6,7	6,5	6,4	5,9	6,3	5,5
CE (mS cm⁻¹)	2,758	2,040	2,343	2,452	2,219	2,040	1,837	2,620	1,858	2,760
CQO (mg.L⁻¹)	-	-	18 \pm 2	70 \pm 1	-	38 \pm 0	3 \pm 2	66 \pm 4	20 \pm 2	-
TOC (mg L⁻¹)	33,6 \pm 0,6	31,0 \pm 0,6	19,6 \pm 0,6	32,14 \pm 0,06	31 \pm 1	26 \pm 2	22,9 \pm 0,7	37,29 \pm 0,05	15 \pm 1	37,0 \pm 0,9
IC (mg L⁻¹)	5,8 \pm 0,4	26,5 \pm 0,7	17 \pm 1	10,32 \pm 0,04	5 \pm 1	1,8 \pm 0,2	9,8 \pm 0,5	3,1 \pm 0,1	15,3 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1
TC (mg L⁻¹)	39 \pm 1	57,4 \pm 0,1	36,4 \pm 0,7	42,46 \pm 0,03	35,70 \pm 0,07	28 \pm 1	33 \pm 1	40,41 \pm 0,08	30 \pm 1	40 \pm 1
TN (mg L⁻¹)	231 \pm 3	204 \pm 3	217 \pm 4	187 \pm 6	226 \pm 9	215 \pm 10	234 \pm 3	233 \pm 6	228 \pm 2	256 \pm 8
Ca²⁺ (mg L⁻¹)	91 \pm 17	74 \pm 1	48 \pm 20	53 \pm 5	75 \pm 3	88 \pm 5	100 \pm 5	129 \pm 3	35 \pm 2	26 \pm 2
Mg²⁺ (mg L⁻¹)	5,0 \pm 0,2	2 \pm 0	5,1 \pm 0,2	23 \pm 4	3,0 \pm 0,2	-	1,7 \pm 0,1	-	12 \pm 1	27 \pm 1
P total (mg L⁻¹)	130 \pm 11	131 \pm 13	135 \pm 4	126,0 \pm 0,5	140 \pm 8	115 \pm 14	129,0 \pm 0,5	198 \pm 4	135 \pm 6	230 \pm 27
HCO₃⁻ (mg L⁻¹)	96 \pm 0	(2,1 \pm 0,8)*100	(1,2 \pm 0,2)*100	205 \pm 0	30 \pm 8	(0,8 \pm 0,2)*100	39 \pm 4	30 \pm 9	63 \pm 4	21 \pm 4
Alcalinidade (mg L⁻¹)	79 \pm 0	(1,7 \pm 0,7)*100	(1,0 \pm 0,1)*100	168 \pm 0	26 \pm 7	(0,7 \pm 0,1)*100	32 \pm 3	25 \pm 7	52 \pm 3	17 \pm 3
Na⁺ (mg L⁻¹)	30 \pm 1	32 \pm 0	24 \pm 0	27 \pm 0	13 \pm 0	23 \pm 0	14 \pm 0	27 \pm 0	22 \pm 1	38 \pm 1
K⁺ (mg L⁻¹)	404 \pm 17	413 \pm 3	408 \pm 3	406 \pm 0	390 \pm 6	452 \pm 0	407 \pm 0	513 \pm 5	389 \pm 3	588 \pm 20
NH₄⁺ (mg L⁻¹)	14 \pm 1	38 \pm 1	23 \pm 1	47 \pm 5	8 \pm 0	39 \pm 1	8 \pm 1	8,1 \pm 0,4	10,9 \pm 0,1	2,3 \pm 0,5
TKN (mg L⁻¹)	42 \pm 4	41 \pm 0	43 \pm 24	49 \pm 3	64 \pm 1	31 \pm 1	65 \pm 2	14,5 \pm 0,6	64 \pm 1	12 \pm 7
NO₃⁻ (mg L⁻¹)	805 \pm 19	712 \pm 33	721 \pm 72	723 \pm 71	750 \pm 43	735 \pm 184	726 \pm 5	1204 \pm 26	876 \pm 17	1494 \pm 70
NO₂⁻ (mg L⁻¹)	0,01 \pm 0	1,81 \pm 0,01	2,05 \pm 0,04	2,02 \pm 0,06	0,01 \pm 0	10,8 \pm 0,1	0,005 \pm 0	1,4 \pm 0,1	0,007 \pm 0	0,72 \pm 0,01
Turvação (NTU)	0,3 \pm 0,1	0,47 \pm 0,05	0,04 \pm 0,03	0,2 \pm 0	0 \pm 0	0,11 \pm 0,08	0 \pm 0	0,42 \pm 0,07	0 \pm 0	0,17 \pm 0,01

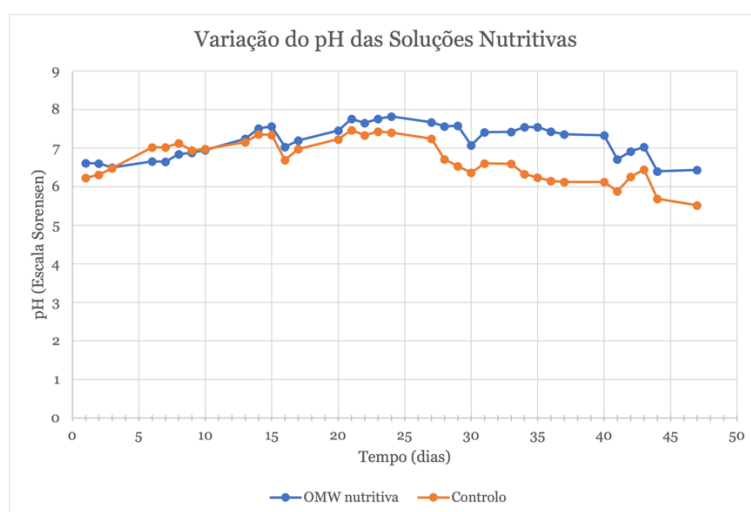


Figura 21 - Variação do pH das soluções nutritivas ao longo do tempo.

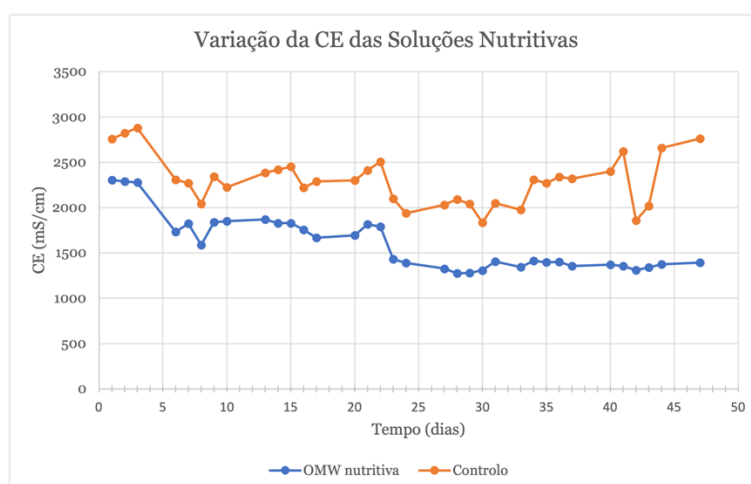


Figura 22 - Variação da CE das soluções nutritivas ao longo do tempo.

Ao longo do tempo de cultivo observaram-se variações de pH devido à desequilibrada absorção de íons por parte das alfaces. Valores de pH aconselhados para cultivo de alface por hidroponia variam entre os 5,5 e 7 [99] e, em certos momentos, as soluções nutritivas alcançaram valores de pH perto de 7,8, podendo ser um obstáculo à absorção de nutrientes. Também se observaram variações de CE, devido à absorção de nutrientes pelas plantas e à diferença na concentração nutritiva, a cada substituição de solução. Os valores de CE obtidos estão de acordo com Majid et al. [99], que concluíram que a CE não deve ser menor que 0,8 mS cm⁻¹, para garantir a disponibilidade de nutrientes em solução.

O Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto [91] foi tido em conta no que diz respeito aos valores limite da OMW nutritiva à saída do sistema, para garantir a sua afinação e aptidão de descarte. Na **Tabela 5** estão apresentados os valores limite aceites para descarga de águas residuais.

Comparando os valores obtidos para os parâmetros analisados à saída do sistema com os valores limite de emissão constantes do Decreto-Lei acima referido, é possível concluir que tanto o pH, como a CBO₅ e a CQO estão dentro dos limites para descarga. No entanto, os fenóis, fósforo, nitratos, azoto amoniacal e azoto total, encontram-se acima dos valores aceitáveis. Isto pode dever-se a nutrientes em excesso não absorvidos pelas raízes das alfaces, que se vão acumulando no depósito; ao facto de o meio de enchimento de caroço de azeitona, pelo qual a solução passa quando rega as alfaces, conter na sua composição compostos fenólicos e nutrientes e também ao aumento da concentração da solução nutritiva ao longo do tempo devido à evaporação. Para além disso, alguns parâmetros das saídas variam entre si ao longo do tempo, provavelmente devido ao facto de, ao longo do seu desenvolvimento, as alfaces não necessitarem de certos nutrientes em tanta quantidade para o seu crescimento.

Sendo que as soluções nutritivas não estão em conformidade com o Decreto-Lei que regula os valores limites de emissão para descarga de águas residuais, será possível reutilizar, mais uma vez, esta água, aproveitando os nutrientes nela ainda existentes.

4.5. Monitorização das alfaces

Ao longo do tempo de cultivo foram monitorizados alguns parâmetros semanalmente ou de duas em duas semanas. Todas as semanas foi medida a clorofila e o número de folhas. A altura e o diâmetro das alfaces foram medidos de duas em duas semanas. Para além disso, a temperatura da estufa foi monitorizada diariamente e a evaporação das soluções nos depósitos semanalmente.

As **Figuras 23 a 32** mostram o desenvolvimento semanal das alfaces. À exceção da **Figura 32**, em todas as imagens o sistema é visto da mesma perspectiva, sendo que à esquerda se pode observar o OMW+C, seguido do OMW+L, SC+C e por fim, à direita, o SC+L.

O crescimento das alfaces é bem notório a cada semana. Ao fim de 2 semanas já é possível verificar um maior crescimento nas alfaces alimentadas com a solução controlo (à direita). Às 5 semanas é óbvia a diferença em altura, diâmetro e intensidade de cor entre as alfaces alimentadas com OMW nutritiva e o controlo. As alfaces alimentadas com OMW nutritiva mais próximas do depósito aparentam estar menos desenvolvidas do que as que se encontram na extremidade oposta, estando as alfaces nº 11 de todos os sistemas bastante parecidas entre si, a olho nu. Ao fim das 7 semanas todas as alfaces estão crescidas e verdes. No entanto, as que foram alimentadas com a solução controlo apresentam um aspeto mais viçoso, seguindo-se as alfaces alimentadas por OMW nutritiva com meio de enchimento de leca e, por fim, as alfaces alimentadas com OMW nutritiva com meio de enchimento de caroço de azeitona, que são as que aparentam menor intensidade de cor, embora não deixem de ter um aspeto saudável.



Figura 23 - Alfaces no sistema hidropónico ao primeiro dia de cultivo – visão global.



Figura 24 - Alfaces no sistema hidropónico ao primeiro dia de cultivo – aproximado.

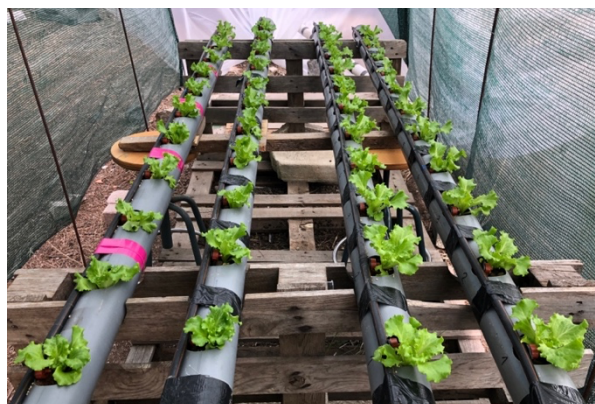


Figura 25 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 1 semana.



Figura 26 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 2 semanas.



Figura 27 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 3 semanas.



Figura 28 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 4 semanas.



Figura 29 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 5 semanas.



Figura 30 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 6 semanas.



Figura 31 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 7 semanas, no último dia de cultivo.



Figura 32 - Alfaces no sistema hidropónico ao fim de 7 semanas, no último dia de cultivo. Sistema SC+L, SC+C, OMW+L e OMW+C, da esquerda para a direita.

4.5.1. Temperatura da estufa e evaporação

Diariamente foi registada a temperatura máxima e mínima atingida no interior da estufa, como é possível verificar na **Figura 33**. Os meses de março e abril de 2022 foram típicos meses de fim de inverno e início de primavera, com dias de sol, promovendo o aumento da temperatura na estufa, alcançando máximos acima dos 50 °C; dias de chuva e céu nublado, onde as temperaturas máximas foram pouco mais elevadas do que as temperaturas mínimas, rondando os 20 °C; e noites frescas, permitindo temperaturas mínimas relativamente baixas, entre os 5 e os 20 °C.

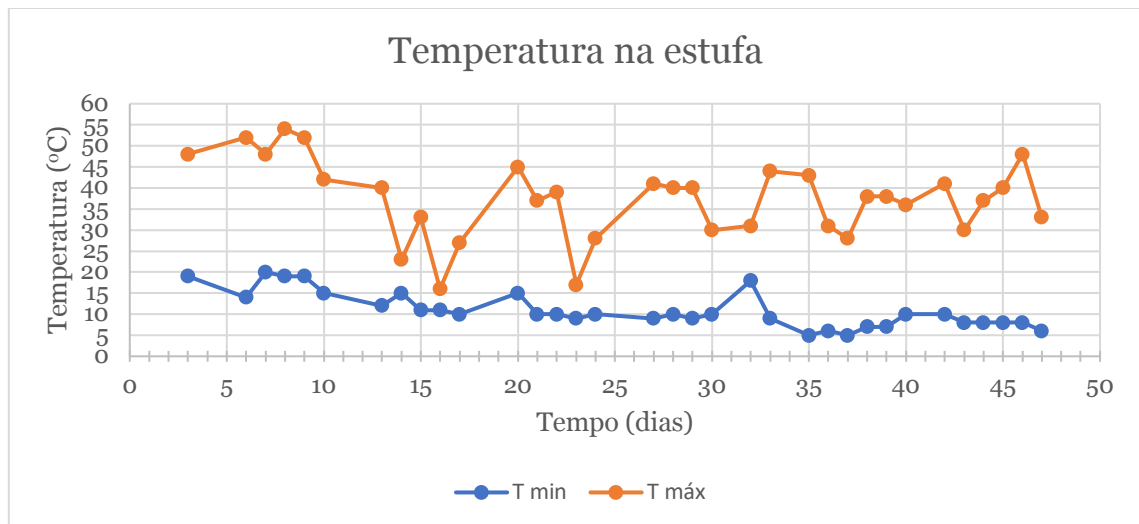


Figura 33 - Variação da Temperatura no interior da estufa, ao longo do tempo de cultivo.

Semanalmente foi registado o volume de solução evaporado, observando a proveta de 1 L colocada no interior da estufa. Apesar dos depósitos terem maior área exposta ao ar, é possível ter uma ideia da quantidade de solução nutritiva evaporada a cada semana, observando a **Figura 34**. Nas primeiras duas semanas a evaporação rondou os 20 mL por litro, na terceira e quarta semanas

rondou os 10 mL por litro, à quinta e sexta semana voltou a chegar aos 20 mL por litro e na última semana alcançou os 35 mL evaporados por litro de água.

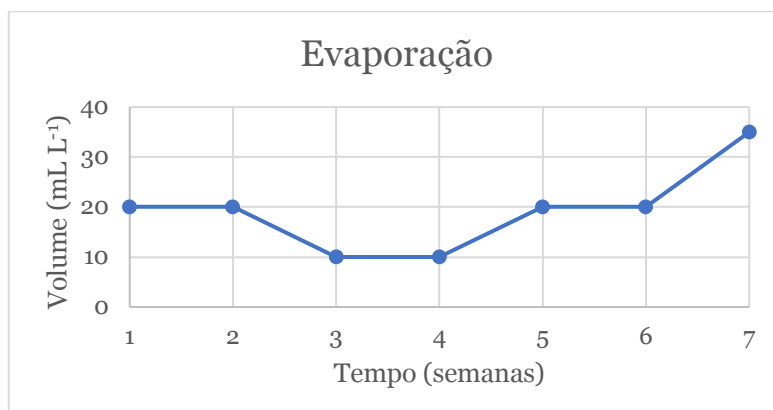


Figura 34 - Evaporação de água na estufa a cada semana.

4.5.2. Número de folhas das alfaces

O número de folhas foi monitorizado todas as semanas, sendo contadas todas as folhas de todas as alfaces de cada sistema e pode ser observado na **Figura 35**. Ao início do ensaio os quatro sistemas tinham entre 5 e 6 folhas por alface, número que foi aumentando gradualmente ao longo do tempo, sem grande discrepância entre sistemas. Onde foi notória maior diferença foi na sexta semana, onde o número de folhas das alfaces do sistema OMW+C foi de 21 ± 3 , o OMW+L de 22 ± 2 , o SC+C 24 ± 1 e o SC+L 23 ± 3 . Contudo, à sétima semana esta diferença diminuiu, obtendo médias rondando as 24 folhas para todos os sistemas. O sistema com número mais elevado de folhas por alface foi o OMW+L, com uma média de 25 ± 1 e o SC+L obteve 24 ± 3 folhas por alface, sendo este o menor número médio de folhas entre os sistemas.

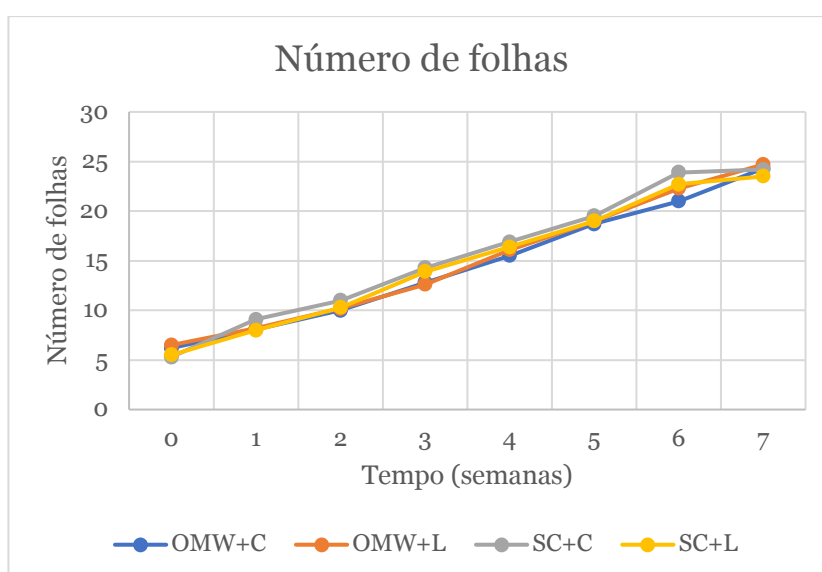


Figura 35 - Médias do número de folhas das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

4.5.3. Altura e diâmetro das alfaces

A **Figura 36** apresenta os valores da altura das alfaces que, tendo sido medida à segunda, terceira e sétima semanas, aumentou ao longo do tempo, como esperado. Desde início as alfaces do sistema OMW+C apresentaram alturas inferiores às restantes, sendo que na segunda semana tinham em média 10 ± 1 cm de altura e as dos sistemas OMW+L, SC+C e SC+L tinham 12 ± 1 cm, 13 ± 2 cm e 11 ± 2 cm, respetivamente. No fim do ensaio esta tendência manteve-se, apresentando medias de altura final de 16 ± 3 cm, 21 ± 2 cm, 23 ± 2 cm e 23 ± 2 cm para os sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L, respetivamente.

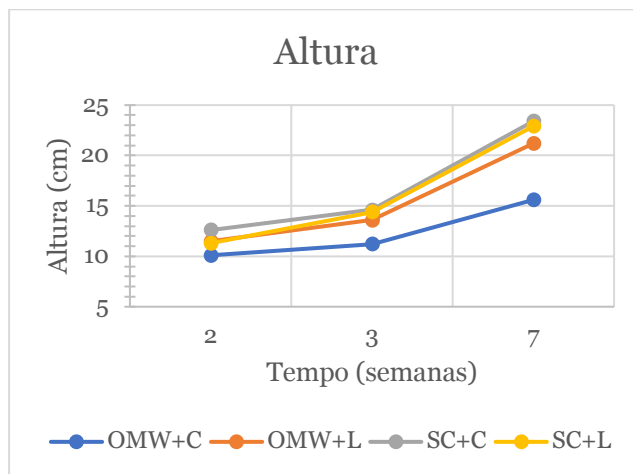


Figura 36 - Médias da altura das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

A monitorização do diâmetro das alfaces pode ser observada na **Figura 37**. Esta característica começou a ser medida ao fim de uma semana, quando as folhas das alfaces começaram a abrir. O sistema em que o diâmetro das alfaces sofreu maior aumento foi o OMW+L, iniciando com uma média de 11 ± 1 cm e terminando com 27 ± 5 cm. As alfaces dos sistemas OMW+L, SC+C e SC+L terminaram o ensaio com diâmetros relativamente próximos, sendo 27 ± 5 cm, 29 ± 5 cm e 28 ± 2 cm, comparativamente à média de 21 ± 3 cm de diâmetro das alfaces do sistema OMW+C.

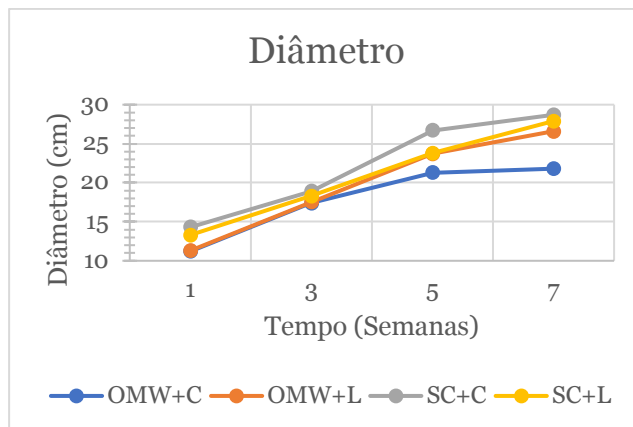


Figura 37 - Médias do diâmetro das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

4.5.4. Clorofila das alfaces

A clorofila foi monitorizada semanalmente, sendo lida numa folha de cada alface de cada sistema e os seus resultados podem ser observados na **Figura 38**. É de ter em atenção que a grande variação desta característica pode dever-se também ao facto da escolha aleatória das folhas a cada semana. Em média, ao fim da primeira semana as alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L apresentaram valores de clorofila, em unidades SPAD de 27 ± 2 , 27 ± 3 , 25 ± 2 e 25 ± 2 , respetivamente. Ao fim das sete semanas os valores foram menos uniformes, sendo estes de 18 ± 4 , 25 ± 5 , 24 ± 5 e 26 ± 4 unidades SPAD para os respetivos sistemas.

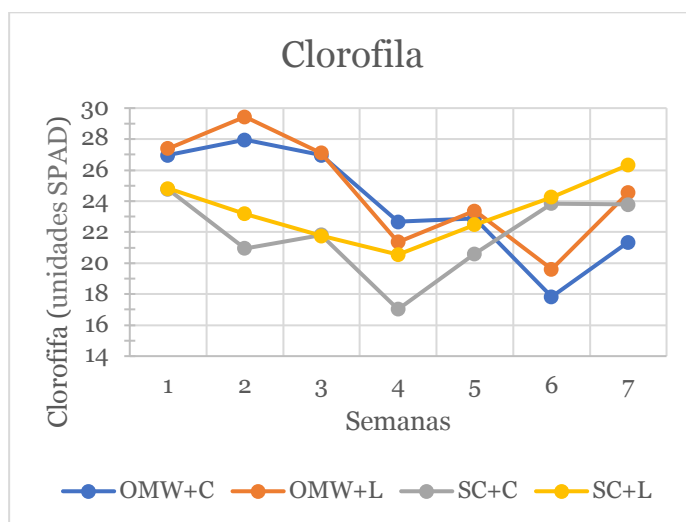


Figura 38 - Médias dos valores de clorofila das alfaces dos sistemas OMW+C, OMW+L, SC+C e SC+L.

4.6. Colheita e caracterização físico-química e agronómica das alfaces

As alfaces foram colhidas ao fim de um período de 7 semanas, apresentando uma taxa de sobrevivência de 100%. A colheita foi realizada no dia 20 de abril de 2022, retirando cada alface com a raiz, começando pela alface número 1 do sistema OMW+C e terminando na alface número 11 do sistema SC+L. As **Figuras 39 – 46** mostram alguns exemplos das alfaces imediatamente após colheita, vistas de frente (**a**) e de cima (**b**). Após a colheita todas as alfaces foram pesadas, foram-lhes contadas as folhas e foram também medidos a clorofila, a altura e o diâmetro.



Figura 39 - Alface número 4 do sistema OMW+C, vista de frente (a) e de cima (b).

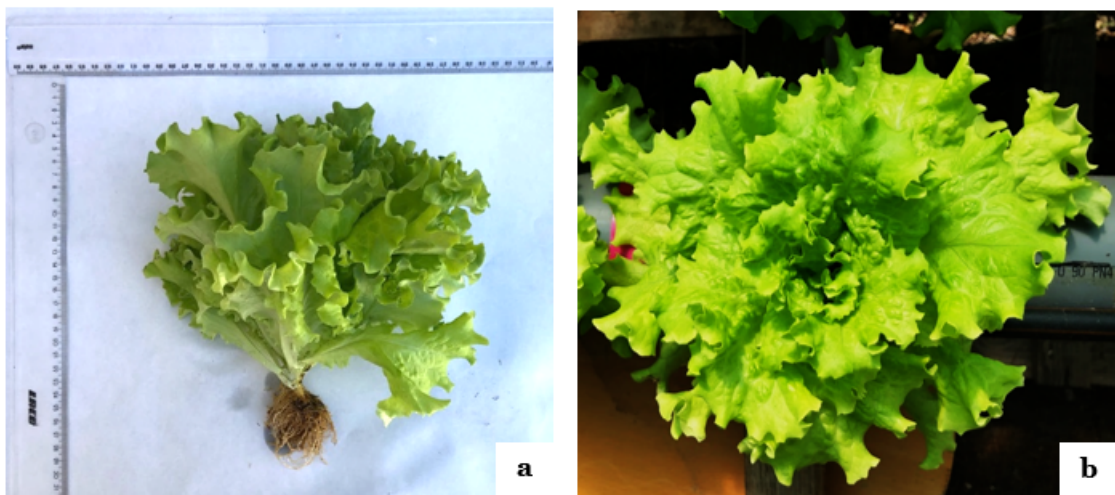


Figura 40 - Alface número 8 do sistema OMW+C, vista de frente (a) e de cima (b).



Figura 41 - Alface número 4 do sistema OMW+L, vista de frente (a) e de cima (b).



Figura 42 - Alface número 8 do sistema OMW+L, vista de frente (a) e de cima (b).



Figura 43 - Alface número 4 do sistema SC+C, vista de frente (a) e de cima (b).

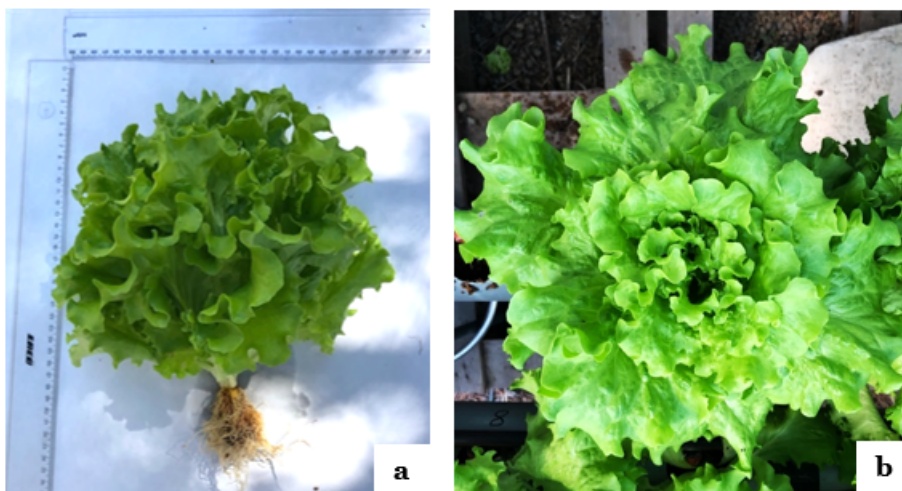


Figura 44 - Alface número 8 do sistema SC+C, vista de frente (a) e de cima (b).



Figura 45 - Alface número 4 do sistema SC+L, vista de frente (a) e de cima (b).



Figura 46 - Alface número 8 do sistema SC+L, vista de frente (a) e de cima (b).

Considerando as alfaces acima como representantes das restantes alfaces dos sistemas, ao observar estas figuras individualmente é possível concluir que não existem características demasiado diferentes de uma alface encontrada numa superfície comercial, todas elas apresentando folhas de cor numa tonalidade de verde e um aspeto viçoso e saudável. Quanto às suas raízes chega-se à conclusão de que os sistemas com leca como matriz de suporte (OMW+L e SC+L) permitiram que as raízes crescessem mais, já as alfaces cultivadas nos sistemas com caroço de azeitona (OMW+C e SC+C) apresentam raízes bem mais curtas e atrofiadas. Isto pode dever-se ao volume dos vazios da leca ser superior ao do caroço em 10%, podendo ser consultado na **Tabela 8**.

É de ter em consideração que estas fotografias, apesar de terem sido tiradas imediatamente após a colheita, apresentam níveis diferentes de exposição solar e sombras.

A análise estatística foi realizada em duas partes, sendo comparadas as alfaces do sistema OMW+C com as do SC+C e as do sistema OMW+L com as do SC+L. As **Tabelas 15 e 16** apresentam os resultados dos parâmetros avaliados.

Tabela 15 - Características agronômicas e físico-químicas das alfaces cultivadas nos sistemas OMW+C e SC+C após colheita. Valores são médias \pm desvio padrão.

	OMW+C	SC+C
Número de folhas	24 \pm 3 a	24 \pm 2 a
Altura (cm)	16 \pm 3 a	23 \pm 2 b
Diâmetro (cm)	21 \pm 3 a	29 \pm 5 b
Massa fresca aérea (g)	(4 \pm 2)*10 a	(1,2 \pm 0,3)*100 b
Massa fresca raiz (g)	11 \pm 2 a	16 \pm 7 b
Área foliar (cm²)	81 \pm 4 a	144 \pm 12 b
Relação parte aérea/raiz	4,0 \pm 1,7 a	8 \pm 3 b
Clorofila (unidade SPAD)	18 \pm 4 a	24 \pm 5 b
Carotenoides (mg/100g)	3 \pm 0,1 a	2,5 \pm 0,1 b
Clorofila A (mg/100g)	11,5 \pm 0,6 a	18,0 \pm 0,6 b
Clorofila B (mg/100g)	5,8 \pm 0,4 a	12,7 \pm 1 b
Humidade aérea (%)	92,7 \pm 0,3 a	93,4 \pm 0,2 b
Humidade raiz (%)	85,2 \pm 0,2 a	73,1 \pm 0,1 b
Extrato seco (%)	7,2 \pm 0,1 a	6,6 \pm 0,1 b
ATT (%)	0,12 \pm 0,05 a	0,10 \pm 0,03 a
Acidez (% resíduo seco)	1,6 \pm 0,7 a	1,5 \pm 0,5 a
Cinzas (%)	17 \pm 2 a	16 \pm 1 a
Sólidos solúveis (°Brix)	3,9 \pm 0,1 a	3,4 \pm 0,1 b
pH (escala Sorensen)	6,20 \pm 0,03 a	6,13 \pm 0,01 b
EC (mS cm⁻¹)	0,49 \pm 0,03 a	0,43 \pm 0,01 b
Na (mg g⁻¹)	8 \pm 1 a	5,0 \pm 0,3 b
K (mg g⁻¹)	53 \pm 9 a	44 \pm 5 a

Diferentes letras a e b nas colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

Tabela 16 - Características agronômicas e físico-químicas das alfaces cultivadas nos sistemas OMW+L e SC+L após colheita. Valores são médias \pm desvio padrão.

	OMW+L	SC+L
Número de folhas	25 \pm 1 a	24 \pm 3 a
Altura (cm)	21 \pm 2 a	23 \pm 2 b
Diâmetro (cm)	27 \pm 5 a	28 \pm 2 a
Massa fresca aérea (g)	(7 \pm 2)*10 a	(1,3 \pm 0,4)*100 b
Massa fresca raiz (g)	11 \pm 2 a	15 \pm 4 b
Área foliar (cm²)	126 \pm 9 a	169 \pm 3 b
Relação parte aérea/raiz	7 \pm 2 a	9 \pm 3 a
Clorofila (unidade SPAD)	25 \pm 5 a	26 \pm 4 a
Carotenoides (mg/100g)	2,7 \pm 0,1 a	2,5 \pm 0,1 b

Tabela 16 (continuação)

Clorofila A (mg/100g)	15,9 ± 0,6 a	17,9 ± 0,2 b
Clorofila B (mg/100g)	9,6 ± 0,7 a	12,1 ± 0,3 b
Humidade aérea (%)	93,3 ± 0,2 a	93,4 ± 0,1 b
Humidade raiz (%)	92,2 ± 0,1 a	90,7 ± 0,3 b
Extrato seco (%)	6,8 ± 0,1 a	6,6 ± 0,1 b
ATT (%)	0,130 ± 0,001 a	0,14 ± 0,02 a
Acidez (% resíduo seco)	1,91 ± 0,03 a	2,1 ± 0,3 a
Cinzas (%)	17 ± 1 a	18 ± 2 a
Sólidos solúveis (°Brix)	3,4 ± 0,1 a	2,8 ± 0,1 b
pH (escala Sorensen)	6,26 ± 0,01 a	6,20 ± 0,02 b
EC (mS cm⁻¹)	0,33 ± 0,01 a	0,36 ± 0,01 b
Na (mg g⁻¹)	7 ± 1 a	6 ± 1 b
K (mg g⁻¹)	53 ± 3 a	51 ± 4 a

Diferentes letras a e b nas colunas indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

A análise estatística foi realizada comparando as alfaces cultivadas com a OMW nutritiva versus as cultivadas com a SC, para perceber como é que a OMW nutritiva afetou o desenvolvimento das alfaces nas diferentes matrizes de suporte. Desta forma obtiveram-se dois grupos de comparação: OMW+C versus SC+C e OMW+L versus OMW+L.

Nenhum dos grupos apresentou diferenças significativas no que toca ao número de folhas das alfaces em cada sistema, sendo que se obteve uma média geral de 24±3 folhas por alface. As alfaces de todos os sistemas apresentaram um número de folhas superior ao dos estudos realizados por Radin et al. e por Afonso et al., que cultivaram alfaces por hidroponia, rondando as 22 e as 18 folhas por alface, respetivamente [103], [59].

Quanto ao diâmetro e altura, o sistema alimentado com a SC conseguiu produzir alfaces maiores, sendo as alfaces OMW+C as mais fracas nestes atributos. As alfaces de todos os sistemas obtiveram um diâmetro superior aos 18±1 cm obtidos por Afonso et al. [59] e, comparativamente às alfaces cultivadas por Lei et al., que apresentaram um diâmetro de 22±2 cm [87], foi-nos possível obter valores semelhantes para as OMW+C e superiores para as restantes. Do mesmo modo, as alfaces cultivadas por Lei et al. apresentaram 19±1 cm de altura, valor superior ao das OMW+C e inferior o das alfaces dos restantes sistemas.

Como seria de esperar, após observar, por exemplo, a **Figura 31**, as alfaces cultivadas com OMW nutritiva apresentaram massas frescas da parte aérea e da raiz significativamente mais baixas do que as dos sistemas com SC. Relativamente à massa fresca da parte aérea, Afonso et al. obtiveram alfaces com 12±2 g [59] e Lei et al. obtiveram alfaces com 45±6 g [87]. As alfaces cultivadas em OMW+C apresentaram menor massa fresca da parte aérea do que as cultivadas por Lei et al., mas todas as outras obtiveram massas superiores às dos estudos referidos anteriormente.

Quanto à área foliar, as alfaces OMW+C resultaram numa média de 81±4 cm², comparativamente com 144±12 cm² das SC+C e as OMW+L resultaram em 126±9 cm², comparativamente com 169±3

cm² das SC+L. As alfaces de todos os sistemas obtiveram valores de área foliar superiores aos 59±3 cm² obtidos por Afonso et al. [59].

A clorofila é o parâmetro que se traduz na cor verde das plantas e é normalmente associada à concentração de azoto presente na solução nutritiva, que é um macronutriente essencial ao crescimento das alfaces. Neste estudo, as alfaces com melhor valor de clorofila total foram as SC+L com 26±4 unidades SPAD. No entanto, não apresentaram diferenças significativas em relação às OMW+L, que obtiveram 25±5 unidades SPAD. Já as alfaces com clorofila total inferior foram as OMW+C (18±4), apresentando diferenças significativas em comparação com os 24±5 das SC+C. Lei et al., que também cultivaram alfaces por hidroponia, obtiveram valores máximos de clorofila A de 20,5 mg/100g de alface e clorofila B de 6,4 mg/100g de alface [87]. Já Cruz et al. obtiveram valores mínimos de clorofila A de 12,9 mg/100g e clorofila B entre 4,8 e 7,9 mg/100g [104]. Observando as **Tabelas 15 e 16** pode concluir-se que as alfaces OMW+C apresentaram 11,5±0,6 mg/100g de clorofila A, mas todas as outras se encontram dentro dos valores referenciados nos estudos acima, tendo o valor mais elevado sido obtido pelas alfaces SC+C (18±0,6 mg/100g). Relativamente à clorofila B, também as alfaces OMW+C apresentaram o menor valor, de 5,8±0,4 mg/100g. No entanto, todas as outras alfaces ultrapassaram os valores referenciados nos ensaios acima, sendo o valor mais elevado alcançado também pelas alfaces SC+C (12,7±0,1 mg/100g). Estes resultados podem ter como explicação a concentração de nitratos muito superior na solução controlo, em comparação com a solução OMW nutritiva.

A concentração de carotenoides presente nos alimentos é influenciada pelas condições de cultivo, estando principalmente presente em frutas e vegetais de cor amarela ou laranja e em hortaliças de cor verde-escura. Carotenoides são compostos bioativos muito importantes, servindo de agentes de captação de luz para a fotossíntese das plantas. De acordo com os valores de referência entre 0,05 e 0,46 mg/100 g [105], neste trabalho foi possível obter valores superiores, entre os 2,5±0,1 e 3±0,1 mg/100 g, sendo o melhor valor atribuído às alfaces OMW+C.

A humidade da parte aérea da planta está relacionada com o tempo de prateleira. Apesar de os valores de humidade obtidos por outros autores estarem acima dos 90%, quanto mais elevada a humidade, mais depressa as folhas murcham, tornando-se menos apetecíveis ao consumidor [87]. Neste sentido, o melhor resultado de humidade foi alcançado nas alfaces OMW+C, sendo de 92,78±0,01 %.

A acidez titulável representa o nível de ácidos presentes no alimento: quanto maior o valor de ATT, mais amargo é o alimento [106]. Neste ensaio não houve diferenças significativas entre os tratamentos, para este parâmetro, obtendo-se percentagens de 0,12±0,05, 0,10±0,03 para as alfaces OMW+C, SC+C, respetivamente e 0,130±0,001 e 0,14±0,02 para as alfaces OMW+L e SC+L, respetivamente.

A quantidade de sólidos solúveis pode traduzir-se no sabor mais apetecível ao consumidor. Em comparação com estudo realizado por Schvambach et al., que obtiveram alfaces com 2,82° Brix

[107], todas as alfaces apresentaram valores ligeiramente superiores. Das alfaces cultivadas em caroço de azeitona, as OMW+C apresentaram um valor mais elevado de sólidos solúveis ($3,9 \pm 0,1$ °Brix), comparativamente às SC+C ($3,4 \pm 0,1$ °Brix). Relativamente às alfaces cultivadas em leca, também foram as regadas com OMW (OMW+L) que apresentaram o valor mais elevado para este parâmetro ($3,4 \pm 0,1$ °Brix), sendo as alfaces SC+L as que apresentaram menor valor entre todos os ensaios.

A concentração de sódio presente nas alfaces pode rondar os 0,04 e 1,4 mg g⁻¹ [108], sendo que o consumo de Na em excesso pode ser prejudicial à saúde. Neste estudo todas as alfaces apresentaram valores superiores a 1,4 mg g⁻¹, tendo as OMW+C apresentado maior quantidade de Na e as SC+C menor.

O potássio nas alfaces ajuda a ativar enzimas envolvidas na fotossíntese, influenciando a produtividade e qualidade final do alimento. No estudo realizado por Carvalho et al., as alfaces apresentaram cerca de 50 mg g⁻¹ de K [109]. Entre as alfaces cultivadas em caroço de azeitona, as que contêm maior concentração de K são as OMW+C (53 ± 9 mg g⁻¹) e entre as alfaces cultivadas em leca, as que contêm maior concentração de K são as OMW+L (53 ± 3 mg g⁻¹).

4.7. Análise sensorial

A avaliação dos parâmetros sensoriais das alfaces foi realizada através de uma prova sensorial, utilizando uma escala estruturada (1-ausente; 2-pouco presente; 3-presente; 4-muito presente) para os seguintes atributos: intensidade da cor, uniformidade da cor, folha murcha, cheiro fresco, sabor desagradável, sabor doce, textura crocante e textura tenra. Por fim, os participantes tiveram a opção de decidir qual das amostras escolheriam perante uma intenção de compra. A avaliação da análise sensorial foi dividida em duas partes, sendo comparadas as alfaces cultivadas em caroço de azeitona (OMW+C versus SC+C) e as alfaces cultivadas em leca (OMW+L versus SC+L).

As alfaces foram colhidas na véspera, desinfetadas e as folhas foram separadas por pratos, devidamente identificados. A prova realizou-se em cabines individuais, na sala de análise sensorial da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja. O painel de provadores foi composto por 30 pessoas não treinadas, que responderam aos pontos acima referidos.

46,7% dos provadores eram do sexo masculino e 53,5% eram do sexo feminino. A faixa etária mais presente foi entre os 17 e os 25 anos, correspondendo a 50%, sendo as faixas etárias dos 26-35 e 35+ representadas por 23,3% e 26,7%, respetivamente. O total dos 30 provadores assumem ter o hábito de consumir alface.

Nas **Tabelas 17 e 19** e nas **Figuras 47 e 48** estão apresentados os resultados para cada parâmetro avaliado na análise sensorial.

Tabela 17 - Resultados estatísticos dos atributos avaliados na prova sensorial das alfaces OMW+C e SC+C.

	OMW+C	SC+C
Intensidade da cor	2,9 ± 0,8 a	3,4 ± 0,8 b
Uniformidade da cor	2,9 ± 0,7 a	3,2 ± 0,8 a
Folha murcha	1,8 ± 0,9 a	2 ± 1 a
Cheiro fresco	3,0 ± 0,9 a	3 ± 1 a
Sabor desagradável	1,1 ± 0,4 a	1,4 ± 0,9 a
Sabor doce	2,0 ± 0,9 a	2,1 ± 0,8 a
Textura crocante	2,3 ± 0,8 a	3 ± 1 a
Textura tenra	2,9 ± 0,9 a	2,7 ± 0,7 a

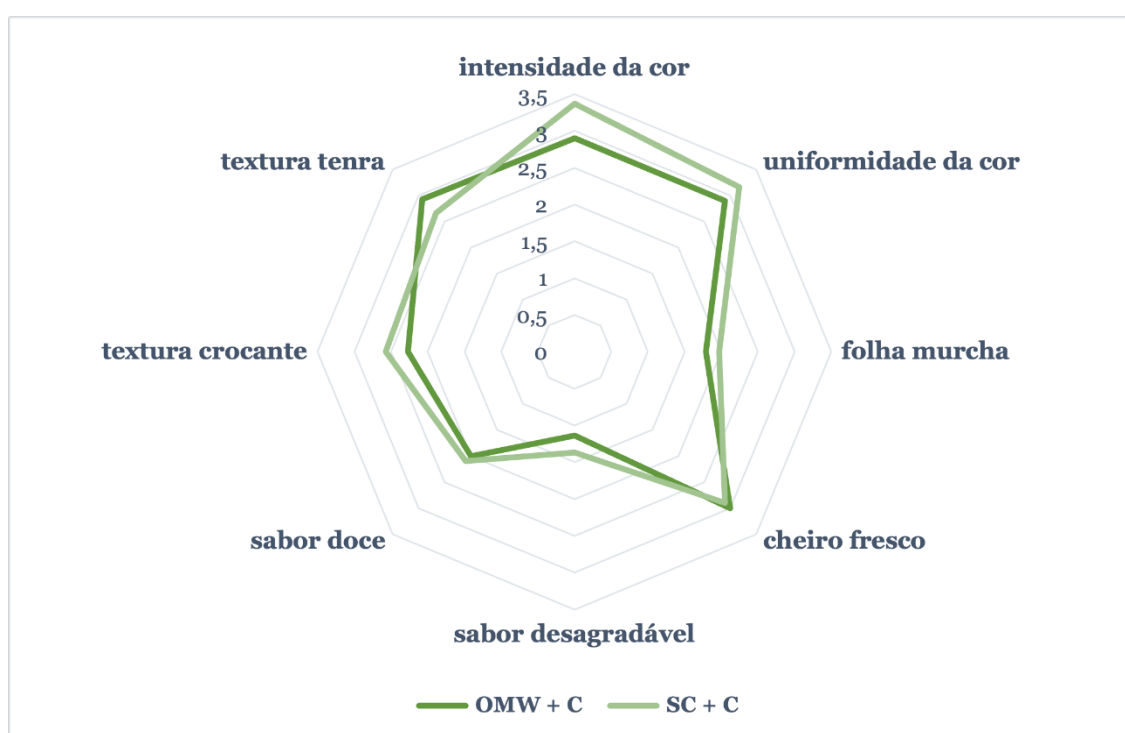


Figura 47 - Perfil sensorial das alfaces OMW+C e SC+C.

Tabela 18 - Intenção de compra entre alfaces OMW+C e SC+C.

	OMW+C	SC+C
Número de provadores	12	18
Porcentagem de provadores (%)	40	60

Dos parâmetros avaliados pelos 30 provadores relativamente às alfaces OMW+C e SC+C, apenas a intensidade da cor apresentou diferenças significativas, sendo que as alfaces SC+C receberam melhor classificação. Este resultado era esperado pois aquando da colheita foi possível retirar as mesmas observações. Contudo, de uma forma geral, pode dizer-se que tanto as alfaces OMW+C

como as SC+C apresentaram boas classificações no que toca a elevada uniformidade da cor, folha murcha com uma classificação inferior a 2, elevado cheiro fresco, sabor desagradável com uma classificação inferior a 1,5 e sabor doce, textura crocante e textura tenra com classificações semelhantes entre ensaios.

Tabela 19 - Resultados estatísticos dos atributos avaliados na prova sensorial das alfaces OMW+L e SC+L.

	OMW+L	SC+L
Intensidade da cor	3,3 ± 0,8 a	3,1 ± 0,6 a
Uniformidade da cor	3,2 ± 0,7 a	2,9 ± 0,7 a
Folha murcha	2,0 ± 0,9 a	1,7 ± 0,9 a
Cheiro fresco	2,7 ± 0,8 a	3 ± 1 a
Sabor desagradável	1,4 ± 0,7 a	1,2 ± 0,7 a
Sabor doce	2,1 ± 0,9 a	3 ± 1 a
Textura crocante	2,4 ± 1,1 a	2,9 ± 1,1 a
Textura tenra	2,9 ± 0,8 a	2,9 ± 0,6 a

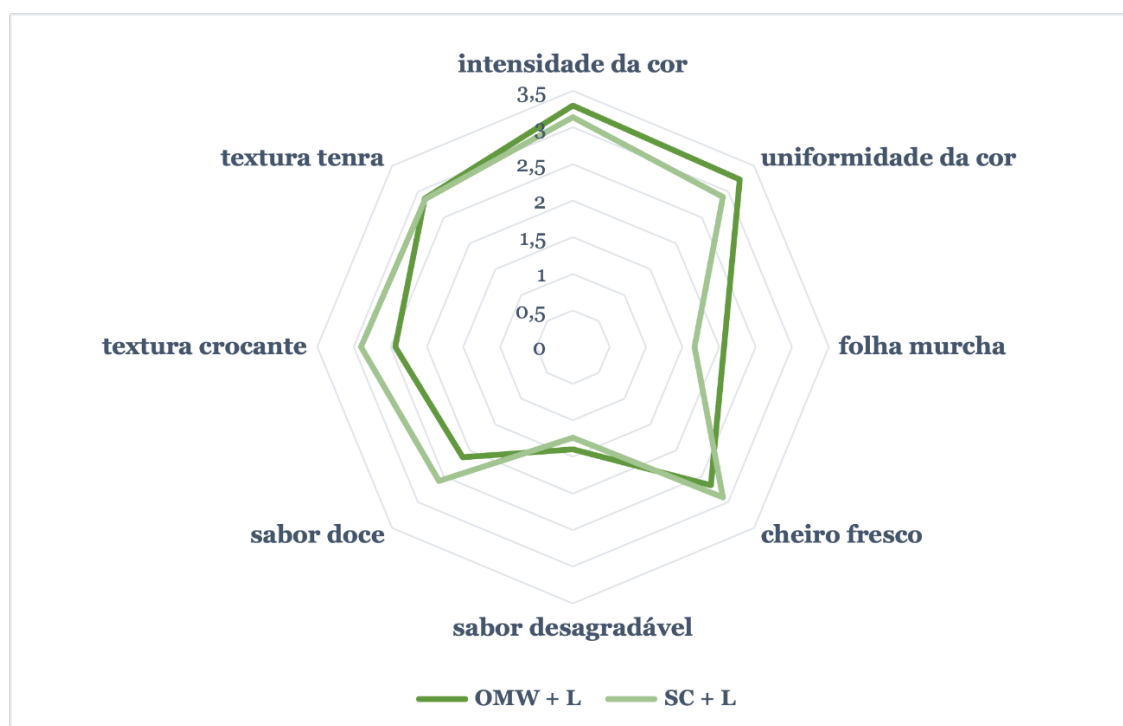


Figura 48 - Perfil sensorial das alfaces OMW+L e SC+L.

Tabela 20 - Intenção de compra entre alfaces OMW+L e SC+L.

	OMW+L	SC+L
Número de provadores	10	20
Percentagem de provadores (%)	33,3	66,7

Dos parâmetros avaliados pelos 30 provadores relativamente às alfaces OMW+L e SC+L, nenhum apresentou diferenças significativas. De uma forma geral, pode dizer-se que tanto as alfaces OMW+L como as SC+L apresentaram boas classificações no que toca a elevada uniformidade da cor, folha murcha com uma classificação inferior a 2,5, elevado cheiro fresco, sabor desagradável com uma classificação inferior a 1,5 e sabor doce, textura crocante e textura tenra com classificações entre os 2,13 e 2,90.

Numa visão global, a avaliação dos provadores foi positiva, uma vez que entre diferentes alfaces apenas a intensidade da cor entre as OMW+C e SC+C apresentou diferenças significativas. Isto mostra que, quando comparadas com as aplicações controlo, a rega com OMW nutritiva e o meio de enchimento de caroço de azeitona, não afetam negativamente a aparência, cheiro, sabor nem textura das alfaces, aos olhos dos participantes nesta análise.

Para além disso, como apresentado nas **Tabelas 18 e 20**, 12 provadores escolheriam comprar uma alface do tipo OMW+C, em vez de uma SC+C, o que corresponde a 40% do total de participantes e exatamente 1/3 dos mesmos escolheria comprar a alface tipo OMW+L, em vez de uma SC+L.

5. Conclusões e perspectivas de trabalho

Sendo as águas ruças e a crescente escassez de água dois problemas bastante atuais no nosso país, existe grande preocupação em encontrar um tratamento de baixo custo, rápido e eficiente para este efluente, criando a possibilidade da sua reutilização. A utilização de águas ruças tratadas no setor agrícola traz benefícios económicos e ambientais, contribuindo ativamente para a tentativa de alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

A técnica de precipitação química básica de etapa única, IOSLP, permitiu alcançar o objetivo de tratar água ruça através da aplicação de uma solução de cal hidratada, que promoveu a precipitação de grande parte da matéria orgânica e outros compostos poluentes, a clarificação e a remoção do odor característico deste efluente. Obtendo taxas de remoção de 85,7% em SST, 88,2% em CQO, 92,4% em CBO₅, 76,6% em compostos fenólicos e 99,9% em turvação, foi possível tornar esta água apta à sua reutilização no setor alimentar.

A técnica de cultivo escolhida para a reutilização da água tratada, hidroponia, permitiu o cultivo de alfaces de uma forma considerada mais eficiente e sustentável, não recorrendo à utilização de pesticidas. Para além disso, para a preparação da OMW nutritiva foram adicionados menos 74% dos nutrientes, em comparação com a preparação da solução controlo.

A utilização de caroços de azeitona como meio de enchimento do sistema hidropónico permitiu a reciclagem de outro subproduto da indústria do azeite, visando proporcionar alternativas sustentáveis na gestão de subprodutos deste setor, contribuindo para uma economia circular. No entanto, são necessários estudos mais aprofundados para perceber de que maneira os compostos presentes nos caroços afetam o desenvolvimento das plantas. De acordo com os resultados de cultivo obtidos, provavelmente seria ideal utilizar os caroços de azeitona em menor quantidade, misturando-os com leca ou outro meio de enchimento pobre em nutrientes e compostos fenólicos. Relativamente à água à saída dos sistemas, observou-se que a elevada concentração de fenóis presente na OWM nutritiva, bem como fósforo, azoto amoniacal e nitratos presentes também na solução controlo, não cumprem com os valores limite de emissão para descarga de águas residuais, de acordo com o Decreto-Lei 236/98 de 1 de agosto [91]. As elevadas concentrações destes compostos à saída dos sistemas podem dever-se à má gestão de absorção de nutrientes por parte das plantas e ao facto de os caroços de azeitona, também eles ricos em compostos fenólicos e outros nutrientes, sofrerem uma lavagem a cada passagem de água pelo sistema. Assim, seria benéfico estudar a água à saída do sistema, comparando os diferentes meios de enchimento. Para isso, poderá repetir-se este estudo com depósitos diferentes para cada um dos quatro sistemas.

Para evitar a necessidade de descarte de água que não cumpre os parâmetros abordados pelo Decreto-Lei, as soluções nutritivas de saída do sistema poderão ser diluídas, ou não, e ser novamente inseridas num sistema hidropónico ou de fitorremediação. Deste modo, a água será reutilizada uma segunda vez, pois ainda contém nutrientes de interesse, permitindo poupar os recursos hídricos comuns.

No sentido de perceber que nutrientes são absorvidos pelas alfaces, seria interessante estudar especialmente de que maneira o azoto entra e sai do sistema, uma vez que, estando presente na

forma NH_4^+ e NO_3^- , pode reagir com outros compostos e não ser absorvido devidamente. No sentido de perceber de que maneira a luz solar afeta o cultivo das alfaces, também seria interessante trocar a ordem dos sistemas ou girar a estufa 90° , para que fique com as laterais viradas para Este e Oeste, sendo que neste ensaio a lateral do sistema OMW+C era virada a norte, ficando menos exposta à luz solar e a lateral do sistema SC+L era virada a sul, sendo mais exposta à luz solar.

Após as sete semanas de cultivo, as alfaces foram colhidas, apresentando uma taxa de sobrevivência de 100%, indicando que nem a água ruça, nem o caroço, nem a junção de ambos, prejudicou de tal maneira as alfaces, impossibilitando a sua colheita e consumo.

As características morfológicas e físico-químicas analisadas, na sua totalidade, não mostraram favorecer drasticamente as alfaces de um sistema em detrimento de outro. Apesar de alguns parâmetros, como massa aérea fresca e área foliar se apresentarem superiores para as alfaces SC+L, outros parâmetros como as clorofilas A e B foram superiores nas alfaces SC+C, as alfaces OMW+L obtiveram o maior número de folhas e a concentração de potássio, carotenoides e sólidos solúveis foi superior nas alfaces OMW+C.

Relativamente ao perfil sensorial apenas as alfaces SC+C apresentaram uma diferença significativa quanto à intensidade da cor, relativamente às alfaces OMW+C. De resto, todos os outros parâmetros foram semelhantemente positivos entre as alfaces de todos os sistemas.

A crescente escassez de água, a degradação dos solos e a demanda de alimentos obriga a que as indústrias afetadas consigam otimizar os seus processos de forma acessível e sustentável, de maneira a fazer face às problemáticas presentes nos dias que correm.

Em suma, pode concluir-se que a técnica de precipitação química básica de etapa única, IOSLP, é uma forma eficiente, rápida e de baixo custo para tratar águas ruças, permitindo a sua reutilização. A sua aplicação no cultivo de alface por hidroponia, juntamente com caroços de azeitona como meio de enchimento, pode ser uma alternativa à reciclagem de subprodutos da indústria do azeite, praticando uma forma de agricultura sustentável e participando de forma ativa na concretização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, através de uma economia circular.

Referências bibliográficas

- [1] M. Donner e I. Radić, «Innovative circular business models in the olive oil sector for sustainable mediterranean agrifood systems», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 13, n. 5, pp. 1–23, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13052588.
- [2] C. S. Akrotos, A. G. Tekerlekopoulou, e D. V. Vayenas, «Agro-industrial wastewater treatment with decentralized biological treatment methods», *Water (Switzerland)*, vol. 13, n. 7. MDPI AG, 1 de Abril de 2021. doi: 10.3390/w13070953.
- [3] S. Souilem, A. El-Abbassi, H. Kiai, A. Hafidi, S. Sayadi, e C. M. Galanakis, «Olive oil production sector: Environmental effects and sustainability challenges», em *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*, Elsevier Inc., 2017, pp. 1–28. doi: 10.1016/B978-0-12-805314-0.00001-7.
- [4] A. Jurgilevich *et al.*, «Transition towards circular economy in the food system», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 8, n. 1, 2016, doi: 10.3390/su8010069.
- [5] A. Mamkagh, F. AL-Zyoud, e R. Al-Atiyat, «Olive Mill Pomace Compost as Soil Amendment, and Sources of Biopesticides and Animal Feed: A Review», *Int J Agric Biol*, vol. 28, n. 4, pp. 257–268, 2022, doi: 10.17957/IJAB/15.1977.
- [6] T. Chatzistathis e T. Koutsos, «Olive mill wastewater as a source of organic matter, water and nutrients for restoration of degraded soils and for crops managed with sustainable systems», *Agricultural Water Management*, vol. 190. Elsevier B.V., pp. 55–64, 1 de Agosto de 2017. doi: 10.1016/j.agwat.2017.05.008.
- [7] «Produção de azeite, 2018-2022», Portal do INE. Acedido: 10 de Setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&userLoadSave=Load&userTableOrder=9286&tipoSelecao=1&contexto=pq&selTab=tab1&submitLoad=true
- [8] J. Lozano-Castellón *et al.*, «Health-promoting properties of oleocanthal and oleacein: Two secoiridoids from extra-virgin olive oil», *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 60, n. 15. Taylor and Francis Inc., pp. 2532–2548, 21 de Agosto de 2020. doi: 10.1080/10408398.2019.1650715.
- [9] F. Rodrigues, F. B. Pimentel, e M. B. P. P. Oliveira, «Olive by-products: Challenge application in cosmetic industry», *Industrial Crops and Products*, vol. 70. Elsevier, pp. 116–124, 1 de Agosto de 2015. doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.027.
- [10] S. Dermeche, M. Nadour, C. Larroche, F. Moulti-Mati, e P. Michaud, «Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies», *Process Biochemistry*, vol. 48, n. 10. pp. 1532–1552, Outubro de 2013. doi: 10.1016/j.procbio.2013.07.010.
- [11] G. Di Giacomo e P. Romano, «Evolution of the Olive Oil Industry along the Entire Production Chain and Related Waste Management», *Energies*, vol. 15, n. 2. MDPI, 1 de Janeiro de 2022. doi: 10.3390/en15020465.
- [12] P. Gullón *et al.*, «Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods», *Food Research International*, vol. 137. Elsevier Ltd, 1 de Novembro de 2020. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109683.
- [13] F. Flammini *et al.*, «From by-product to food ingredient: evaluation of compositional and technological properties of olive-leaf phenolic extracts», *J Sci Food Agric*, vol. 99, n. 14, pp. 6620–6627, Nov. 2019, doi: 10.1002/jsfa.9949.
- [14] Z. Khounani *et al.*, «Environmental life cycle assessment of different biorefinery platforms valorizing olive wastes to biofuel, phosphate salts, natural antioxidant, and an oxygenated fuel additive (triacetin)», *J Clean Prod*, vol. 278, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123916.

- [15] A. Lama-Muñoz *et al.*, «Extraction of oleuropein and luteolin-7-O-glucoside from olive leaves: Optimization of technique and operating conditions», *Food Chem*, vol. 293, pp. 161–168, Set. 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2019.04.075.
- [16] M. A. Nunes, F. B. Pimentel, A. S. G. Costa, R. C. Alves, e M. B. P. P. Oliveira, «Olive by-products for functional and food applications: Challenging opportunities to face environmental constraints», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 35. Elsevier Ltd, pp. 139–148, 1 de Junho de 2016. doi: 10.1016/j.ifset.2016.04.016.
- [17] S. Chanioti e C. Tzia, «Extraction of phenolic compounds from olive pomace by using natural deep eutectic solvents and innovative extraction techniques», *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 48, pp. 228–239, Ago. 2018, doi: 10.1016/j.ifset.2018.07.001.
- [18] A. Bermúdez-Oria, G. Rodríguez-Gutiérrez, M. Alaiz, J. Vioque, J. Girón-Calle, e J. Fernández-Bolaños, «Polyphenols associated to pectic polysaccharides account for most of the antiproliferative and antioxidant activities in olive extracts», *J Funct Foods*, vol. 62, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.jff.2019.103530.
- [19] M. A. Rajaeifar, A. Akram, B. Ghobadian, S. Rafiee, R. Heijungs, e M. Tabatabaei, «Environmental impact assessment of olive pomace oil biodiesel production and consumption: A comparative lifecycle assessment», *Energy*, vol. 106, pp. 87–102, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.03.010.
- [20] M. del Mar Contreras *et al.*, «Integrated process for sequential extraction of bioactive phenolic compounds and proteins from mill and field olive leaves and effects on the lignocellulosic profile», *Foods*, vol. 8, n. 11, 2019, doi: 10.3390/foods8110531.
- [21] M. M. Özcan e B. Matthäus, «A review: benefit and bioactive properties of olive (*Olea europaea* L.) leaves», *European Food Research and Technology*, vol. 243, n. 1, pp. 89–99, Jan. 2017, doi: 10.1007/s00217-016-2726-9.
- [22] A. Mohammadi, S. M. Jafari, A. F. Esfanjani, e S. Akhavan, «Application of nano-encapsulated olive leaf extract in controlling the oxidative stability of soybean oil», *Food Chem*, vol. 190, pp. 513–519, Jun. 2016, doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.115.
- [23] M. Cuevas, J. F. García, G. Hodaifa, e S. Sánchez, «Oligosaccharides and sugars production from olive stones by autohydrolysis and enzymatic hydrolysis», *Ind Crops Prod*, vol. 70, pp. 100–106, Ago. 2015, doi: 10.1016/j.indcrop.2015.03.011.
- [24] C. Padilla-Rascón *et al.*, «Valorisation of olive stone by-product for sugar production using a sequential acid/steam explosion pretreatment», *Ind Crops Prod*, vol. 148, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112279.
- [25] M. A. Al-Ghouti e A. O. Sweleh, «Optimizing textile dye removal by activated carbon prepared from olive stones», *Environ Technol Innov*, vol. 16, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.eti.2019.100488.
- [26] G. Camarsa, «LIFE among the olives», *LIFE Focus. ISBN 978-92-79-14154-6*, 2010, doi: 10.2779/8360.
- [27] A. R. Prazeres, A. Afonso, R. Guerreiro, e E. Jerónimo, «Contamination reduction of real olive oil mill wastewater using innovative acid and basic chemical precipitation processes», *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 18, n. 4, pp. 799–808, Abr. 2021, doi: 10.1007/s13762-020-02924-5.
- [28] F. M. Vella, E. Galli, R. Calandrelli, D. Cautela, e B. Laratta, «Effect of Olive Mill Wastewater Spreading on Soil Properties», *Bull Environ Contam Toxicol*, vol. 97, n. 1, pp. 138–144, Jul. 2016, doi: 10.1007/s00128-016-1830-7.
- [29] A. Al Bawab *et al.*, «Olive mill wastewater treatment in Jordan: A Review», em *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Mar. 2018. doi: 10.1088/1757-899X/305/1/012002.

- [30] N. Flores *et al.*, «Treatment of olive oil mill wastewater by single electrocoagulation with different electrodes and sequential electrocoagulation/electrochemical Fenton-based processes», *J Hazard Mater*, vol. 347, pp. 58–66, Abr. 2018, doi: 10.1016/j.jhazmat.2017.12.059.
- [31] A. Y. Gebreyohannes, R. Mazzei, e L. Giorno, «Trends and current practices of olive mill wastewater treatment: Application of integrated membrane process and its future perspective», *Separation and Purification Technology*, vol. 162. Elsevier B.V., pp. 45–60, 13 de Abril de 2016. doi: 10.1016/j.seppur.2016.02.001.
- [32] M. R. Zahi, W. Zam, e M. El Hattab, «State of knowledge on chemical, biological and nutritional properties of olive mill wastewater», *Food Chemistry*, vol. 381. Elsevier Ltd, 1 de Julho de 2022. doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132238.
- [33] L. M. Fleyfel, N. K. V. Leitner, M. Deborde, J. Matta, e N. H. El Najjar, «Olive oil liquid wastes—Characteristics and treatments: A literature review», *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 168. Institution of Chemical Engineers, pp. 1031–1048, 1 de Dezembro de 2022. doi: 10.1016/j.psep.2022.10.035.
- [34] G. Enaime *et al.*, «Performance and microbial analysis during long-term anaerobic digestion of olive mill wastewater in a packed-bed biofilm reactor», *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 95, n. 3, pp. 850–861, Mar. 2020, doi: 10.1002/jctb.6275.
- [35] S. Andiloro, G. Bombino, P. Denisi, A. Folino, D. A. Zema, e S. M. Zimbone, «Depuration performance of aerated tanks simulating lagoons to treat olive oil mill wastewater under different airflow rates, and concentrations of polyphenols and nitrogen», *Environments - MDPI*, vol. 8, n. 8, Ago. 2021, doi: 10.3390/environments8080070.
- [36] J. A. Sáez *et al.*, «Olive mill wastewater-evaporation ponds long term stored: Integrated assessment of in situ bioremediation strategies based on composting and vermicomposting», *J Hazard Mater*, vol. 402, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.123481.
- [37] A. Y. Goren, A. Yucel, S. C. Sofuoglu, e A. Sofuoglu, «Phytoremediation of olive mill wastewater with *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash and *Cyperus alternifolius* L.», *Environ Technol Innov*, vol. 24, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.102071.
- [38] A. A. Otabek O'g'li, «Industrial Waste Water Treatment Methods», *Texas Journal of Engineering and Technology*, n. ISSN NO: 2770-4491, 2022, [Em linha]. Disponível em: <https://zienjournals.com>
- [39] J. M. Ochando-Pulido, S. Pimentel-Moral, V. Verardo, e A. Martinez-Ferez, «A focus on advanced physico-chemical processes for olive mill wastewater treatment», *Separation and Purification Technology*, vol. 179. Elsevier B.V., pp. 161–174, 2017. doi: 10.1016/j.seppur.2017.02.004.
- [40] Z. Al-Qodah *et al.*, «Sustainable vs. Conventional Approach for Olive Oil Wastewater Management: A Review of the State of the Art», *Water (Switzerland)*, vol. 14, n. 11. MDPI, 1 de Junho de 2022. doi: 10.3390/w14111695.
- [41] Z. S. Lee, S. Y. Chin, J. W. Lim, T. Witoon, e C. K. Cheng, «Treatment technologies of palm oil mill effluent (POME) and olive mill wastewater (OMW): A brief review», *Environmental Technology and Innovation*, vol. 15. Elsevier B.V., 1 de Agosto de 2019. doi: 10.1016/j.eti.2019.100377.
- [42] G. Hodaifa, A. Malvis, M. Maaitah, e S. Sánchez, «Combination of physicochemical operations and algal culture as a new bioprocess for olive mill wastewater treatment», *Biomass Bioenergy*, vol. 138, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.biombioe.2020.105603.
- [43] M. R. Khani *et al.*, «OLIVE MILL WASTEWATER (OMW) TREATMENT BY HYBRID PROCESSES OF ELECTROCOAGULATION/CATALYTIC OZONATION

- AND BIODEGRADATION», 2020. [Em linha]. Disponível em: <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/>; <http://www.eemj.eu>
- [44] I. Haydari *et al.*, «Optimization of preparation conditions of a novel low-cost natural bio-sorbent from olive pomace and column adsorption processes on the removal of phenolic compounds from olive oil mill wastewater», *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, n. 53, pp. 80044–80061, Nov. 2022, doi: 10.1007/s11356-022-20577-4.
- [45] F. Elayadi *et al.*, «Effects of raw and treated olive mill wastewater (OMW) by coagulation-flocculation, on the germination and the growth of three plant species (wheat, white beans, lettuce)», *Moroccan Journal of Chemistry*, vol. 7, pp. 111–122, 2019, [Em linha]. Disponível em: <http://revues.imist.ma/?journal=morjchem&page=login>
- [46] I. Ntaikou, G. Antonopoulou, D. Vayenas, e G. Lyberatos, «Assessment of electrocoagulation as a pretreatment method of olive mill wastewater towards alternative processes for biofuels production», *Renew Energy*, vol. 154, pp. 1252–1262, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.03.108.
- [47] M. Cifuentes-Cabezas, C. Carbonell-Alcaina, M. C. Vincent-Vela, J. A. Mendoza-Roca, e S. Álvarez-Blanco, «Comparison of different ultrafiltration membranes as first step for the recovery of phenolic compounds from olive-oil washing wastewater», *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 149, pp. 724–734, Mai. 2021, doi: 10.1016/j.psep.2021.03.035.
- [48] M. A. N. Camacho, A. I. G. López, A. Martinez-Ferez, e J. M. Ochando-Pulido, «Increasing large-scale feasibility of two-phase olive-oil washing wastewater treatment and phenolic fraction recovery with novel ion exchange resins», *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, vol. 164, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.cep.2021.108416.
- [49] F. Ben Othman, A. Fadhel, e M. Balghouthi, «Sustainable olive-oil mill wastewater treatment by distillation using a parabolic trough solar collector», *Journal of Water Process Engineering*, vol. 48, Ago. 2022, doi: 10.1016/j.jwpe.2022.102947.
- [50] H. Ben Slama *et al.*, «Olive mill and olive pomace evaporation pond's by-products: Toxic level determination and role of indigenous microbiota in toxicity alleviation», *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, n. 11, Jun. 2021, doi: 10.3390/app11115131.
- [51] S. K. Rifi, L. E. Fels, A. Driouich, M. Hafidi, Z. Ettaloui, e S. Souabi, «Sequencing batch reactor efficiency to reduce pollutant in olive oil mill wastewater mixed with urban wastewater», *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 19, n. 11, pp. 11361–11374, Nov. 2022, doi: 10.1007/s13762-021-03866-2.
- [52] A. S. Ciggin, E. S. Sarica, S. Doğruel, e D. Orhon, «Impact of ultrasonic pretreatment on Fenton-based oxidation of olive mill wastewater - towards a sustainable treatment scheme», *J Clean Prod*, vol. 313, Set. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127948.
- [53] S. Siorou *et al.*, «Investigation of olive mill wastewater (OMW) ozonation efficiency with the use of a battery of selected ecotoxicity and human toxicity assays», *Aquatic Toxicology*, vol. 164, pp. 135–144, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.aquatox.2015.04.017.
- [54] A. A. Oladipo, «Rapid photocatalytic treatment of high-strength olive mill wastewater by sunlight and UV-induced CuCr₂O₄@CaFe-LDO», *Journal of Water Process Engineering*, vol. 40, Abr. 2021, doi: 10.1016/j.jwpe.2021.101932.
- [55] J. Barbosa, A. Fernandes, L. Ciríaco, A. Lopes, e M. J. Pacheco, «Electrochemical Treatment of Olive Processing Wastewater Using a Boron-Doped Diamond Anode», *Clean (Weinh)*, vol. 44, n. 9, pp. 1242–1249, Set. 2016, doi: 10.1002/clen.201500158.
- [56] S. Gharaibeh, A. Rababah, e H. Nishino, «Low Cost Treatment and Disposal of Olive Mill Wastewater», *Pollution Sollutions*, 2008.

- [57] M. G. Galloni, E. Ferrara, E. Falletta, e C. L. Bianchi, «Olive Mill Wastewater Remediation: From Conventional Approaches to Photocatalytic Processes by Easily Recoverable Materials», *Catalysts*, vol. 12, n. 8. MDPI, 1 de Agosto de 2022. doi: 10.3390/catal12080923.
- [58] F. Carvalho, A. R. Prazeres, e J. R. Toledo, «TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DA INDÚSTRIA DE QUEIJO MEDIANTE PROCESSOS EM SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO QUÍMICA, NEUTRALIZAÇÃO NATURAL E BIODEGRADAÇÃO AERÓBIA», 2013
- [59] A. Afonso *et al.*, «Reuse of Pretreated Agro-Industrial Wastewaters for Hydroponic Production of Lettuce», *Water (Switzerland)*, vol. 15, n. 10, Mai. 2023, doi: 10.3390/w15101856.
- [60] S. Luz, J. Rivas, A. Afonso, e F. Carvalho, «Immediate one-step lime precipitation process for the valorization of winery wastewater to agricultural purposes», *Environmental Science and Pollution Research*, n. 28, 2021, doi: 10.1007/s11356-020-11933-3/Published.
- [61] L. Madeira, A. Almeida, M. Ribau Teixeira, A. Prazeres, H. Chaves, e F. Carvalho, «Immediate one-step lime precipitation and atmospheric carbonation as pre-treatment for low biodegradable and high nitrogen wastewaters: A case study of explosives industry», *J Environ Chem Eng*, vol. 8, n. 3, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.jece.2020.103808.
- [62] G. Lolos, A. Skordilis, e G. Parissakis, «Polluting characteristics and lime precipitation of olive mill wastewater», *Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*, vol. 29, n. 7, pp. 1349–1356, Ago. 1994, doi: 10.1080/10934529409376115.
- [63] T. Correia, M. Regato, A. Almeida, T. Santos, L. Amaral, e F. Carvalho, «Manual treatment of urban wastewater by chemical precipitation for production of hydroponic nutrient solutions», *Journal of Ecological Engineering*, vol. 21, n. 3, pp. 143–152, 2020, doi: 10.12911/22998993/118286.
- [64] M. Ramalho *et al.*, «Landfill leachate treatment by immediate one-step lime precipitation, carbonation, and phytoremediation fine-tuning», *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 30, n. 4, pp. 8647–8656, Jan. 2023, doi: 10.1007/s11356-022-18729-7.
- [65] L. Madeira, F. Carvalho, A. Almeida, e M. Ribau Teixeira, «Optimization of atmospheric carbonation in the integrated treatment immediate one-step lime precipitation and atmospheric carbonation. The case study of slaughterhouse effluents», *Results in Engineering*, vol. 17, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100807.
- [66] N. Ungureanu, V. Vlăduț, e G. Voicu, «Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation», *Sustainability (Switzerland)*, vol. 12, n. 21. MDPI, pp. 1–19, 1 de Novembro de 2020. doi: 10.3390/su12219055.
- [67] V. Ranade e V. Bhandari, *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. Butterworth-Heinemann, 2014.
- [68] S. Lavrić, M. Zapater-Pereyra, e M. L. Mancini, «Water Scarcity and Wastewater Reuse Standards in Southern Europe: Focus on Agriculture», *Water Air Soil Pollut*, vol. 228, n. 7, Jul. 2017, doi: 10.1007/s11270-017-3425-2.
- [69] K. Chojnacka, A. Witek-Krowiak, K. Moustakas, D. Skrzypczak, K. Mikula, e M. Loizidou, «A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 130, Set. 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.109959.
- [70] «Water and Sanitation - United Nations Sustainable Development». Acedido: 10 de Setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/water-and-sanitation/>

- [71] «Sustainable consumption and production». Acedido: 10 de Setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-consumption-production/>
- [72] «Forests, desertification and biodiversity - United Nations Sustainable Development». Acedido: 10 de Setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/biodiversity/>
- [73] N. Sharma, S. Acharya, K. Kumar, N. Singh, e O. P. Chaurasia, «Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview», *J Soil Water Conserv*, vol. 17, n. 4, p. 364, 2018, doi: 10.5958/2455-7145.2018.00056.5.
- [74] Prof. S. K. A, «Study on Use of Waste Water in Hydroponic System Instead of Nutrient Solution», *Int J Res Appl Sci Eng Technol*, vol. 6, n. 3, pp. 2035–2039, Mar. 2018, doi: 10.22214/ijraset.2018.3485.
- [75] L. Cifuentes-Torres, L. G. Mendoza-Espinosa, G. Correa-Reyes, e L. W. Daesslé, «Hydroponics with wastewater: a review of trends and opportunities», *Water and Environment Journal*, vol. 35, n. 1, pp. 166–180, Fev. 2021, doi: 10.1111/wej.12617.
- [76] A. Chrysargyris, E. Hajisolomou, P. Xylia, e N. Tzortzakis, «Olive-mill and grape-mill waste as a substitute growing media component for unexploded vegetables production», *Sustain Chem Pharm*, vol. 31, Abr. 2023, doi: 10.1016/j.scp.2022.100940.
- [77] D. Djidonou e D. I. Leskovar, «Seasonal changes in growth, nitrogen nutrition, and yield of hydroponic lettuce», *HortScience*, vol. 54, n. 1, pp. 76–85, Jan. 2019, doi: 10.21273/HORTSCI13567-18.
- [78] L. M. I. Aires, K. Ispolnov, T. R. Luz, H. Pala, e J. S. Vieira, «Optimization of an Indoor DWC Hydroponic Lettuce Production System to Generate a Low N and P Content Wastewater», *Processes*, vol. 11, n. 2, Fev. 2023, doi: 10.3390/pr11020365.
- [79] R. S. Spehia *et al.*, «Lettuce Growth and Yield in Hoagland Solution with an Organic Concoction», *International Journal of Vegetable Science*, vol. 24, n. 6, pp. 557–566, Nov. 2018, doi: 10.1080/19315260.2018.1452815.
- [80] S. Chhetri, S. Dulal, S. Subba, e K. Gurung, «Effect of different growing media on growth and yield of leafy vegetables in nutrient film technique hydroponics system», *Archives of Agriculture and Environmental Science*, vol. 7, n. 1, pp. 12–19, Mar. 2022, doi: 10.26832/24566632.2022.070103.
- [81] C. Hidayat, A. A. Roosda, e S. Fauziah, «Various planting media and boron concentrations supporting growth and yield of melon on drip irrigation hydroponic system», em *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Mar. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/694/1/012025.
- [82] L. Pérez-Urrestarazu, R. Fernández-Cañero, P. Campos-Navarro, C. Sousa-Ortega, e G. Egea, «Assessment of perlite, expanded clay and pumice as substrates for living walls», *Sci Horti*, vol. 254, pp. 48–54, Ago. 2019, doi: 10.1016/j.scienta.2019.04.078.
- [83] Subari, Hernawan, K. Wahyudi, I. Rosmayanti, e Nurhidayati, «The development of indonesian local clay as a lightweight expanded clay aggregate (LECA) for organic growing medium», em *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dez. 2020. doi: 10.1088/1757-899X/980/1/012010.
- [84] M.- Rastilantie, N. K. Maršić, e M. Jakše, «Growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativus* L.) on different soilless substrates», *J Food Agric Environ*, vol. 8, n. 2, pp. 654–658, 2010, [Em linha]. Disponível em: www.world-food.net
- [85] A. Chrysargyris, O. Antoniou, F. Athinodorou, R. Vassiliou, A. Papadaki, e N. Tzortzakis, «Deployment of olive-stone waste as a substitute growing medium component for Brassica seedling production in nurseries», *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, n. 35, pp. 35461–35472, Dez. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04261-8.

- [86] E. Nakilcioğlu-Taş e S. Ötleş, «The optimization of solid–liquid extraction of polyphenols from olive stone by response surface methodology», *Journal of Food Measurement and Characterization*, vol. 13, n. 2, pp. 1497–1507, Jun. 2019, doi: 10.1007/s11694-019-00065-z.
- [87] C. Lei e N. J. Engeseth, «Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce», *LWT*, vol. 150, Out. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111931.
- [88] «Estatísticas Agrícolas, 2020», Portal do INE. Acedido: 10 de Setembro de 2023. [Em linha]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOE_Spub_boui=437147278&PUBLICACOESmodo=2
- [89] J. S. Lee, D. Chandra, e J. Son, «Growth, Physicochemical, Nutritional, and Postharvest Qualities of Leaf Lettuce (*Lactuca sativa* L.) as Affected by Cultivar and Amount of Applied Nutrient Solution», *Horticulturae*, vol. 8, n. 5, Mai. 2022, doi: 10.3390/horticulturae8050436.
- [90] S. Sapkota, S. Sapkota, e Z. Liu, «Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture», *Horticulturae*, vol. 5, n. 4, Dez. 2019, doi: 10.3390/horticulturae5040072.
- [91] «Decreto-Lei no. 236/98 de 1 de agosto. Diário da República n.º 176/1998, Série I-A».
- [92] «Decreto-Lei n.º 119/2019 de 21 de agosto. Diário da República n.º 159/2019, Série I.»
- [93] (APHA) American Public Health Association, American Water Works Association, e Water Environmental Federation, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, XX. Washington DC, 1998.
- [94] Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, IV. McGraw-Hill, New York, 2003.
- [95] H. Falleh *et al.*, «Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities», *C R Biol*, vol. 331, n. 5, pp. 372–379, 2008, doi: 10.1016/j.crv.2008.02.008.
- [96] J. Rodier, *Análisis de las aguas, aguas naturales, aguas residuales, aguas de mar*. Ediciones Omega, 1989.
- [97] Domingos Almeida, *Manual de Culturas Hortícolas*, vol. II. Barcarena, Portugal: Presença, 2006.
- [98] X. li Chen, W. zhong Guo, X. zhang Xue, L. chun Wang, e X. jun Qiao, «Growth and quality responses of “Green Oak Leaf” lettuce as affected by monochromic or mixed radiation provided by fluorescent lamp (FL) and light-emitting diode (LED)», *Sci Hortic*, vol. 172, pp. 168–175, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.scienta.2014.04.009.
- [99] M. Majid, J. N. Khan, Q. M. Ahmad Shah, K. Z. Masoodi, B. Afroza, e S. Parvaze, «Evaluation of hydroponic systems for the cultivation of Lettuce (*Lactuca sativa* L., var. Longifolia) and comparison with protected soil-based cultivation», *Agric Water Manag*, vol. 245, Fev. 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2020.106572.
- [100] J. H. Lieth e L. R. Oki, «Irrigation in soilless production», em *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*, Elsevier, 2019, pp. 381–423. doi: 10.1016/B978-0-444-63696-6.00009-8.
- [101] A. R. Prazeres, A. Albuquerque, S. Luz, E. Jerónimo, e F. Carvalho, «Hydroponic System: A Promising Biotechnology for Food Production and Wastewater Treatment», em *Food Biosynthesis*, Elsevier, 2017, pp. 317–350. doi: 10.1016/b978-0-12-811372-1.00011-7.
- [102] R. da Silva Cuba Carvalho, R. G. Bastos, e C. F. Souza, «Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic

- system», *Agric Water Manag*, vol. 203, pp. 311–321, Abr. 2018, doi: 10.1016/j.agwat.2018.03.028.
- [103] B. Radin, ; Carlos, R. Júnior, ; Ronaldo Matzenauer, e H. Bergamaschi, «Crescimento de cultivares de alface conduzidas em estufa e a campo», 2004.
- [104] R. Cruz, P. Baptista, S. Cunha, J. A. Pereira, e S. Casal, «Carotenoids of lettuce (*Lactuca sativa* L.) grown on soil enriched with spent coffee grounds», *Molecules*, vol. 17, n. 2, pp. 1535–1547, Fev. 2012, doi: 10.3390/molecules17021535.
- [105] J. P. B. Rodrigues *et al.*, «Agri-Food Surplus, Waste and Loss as Sustainable Biobased Ingredients: A Review», *Molecules*, vol. 27, n. 16. MDPI, 1 de Agosto de 2022. doi: 10.3390/molecules27165200.
- [106] O. S. Mpenba, A. Du Toit, M. de Wit, S. L. Venter, e A. Hugo, «Edible characteristics of two nopalito cultivars compared to selected popular vegetables. », *Acta Hortic*, 2022, doi: 10.17660/ActaHortic.2022.1343.52.
- [107] M. I. Schvambach, B. Vargas Andriolli, P. Fernandes De Souza, J. Luiz, B. Oliveira, e R. Pescador, «Conservation of crisp lettuce in different post-harvest storage conditions 1». doi: <https://doi.org/10.1590/0034-737X202067040002>.
- [108] M. J. Kim, Y. Moon, J. C. Tou, B. Mou, e N. L. Waterland, «Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.)», *Journal of Food Composition and Analysis*, vol. 49. Academic Press Inc., pp. 19–34, 1 de Junho de 2016. doi: 10.1016/j.jfca.2016.03.004.
- [109] R. da Silva Cuba Carvalho, R. G. Bastos, e C. F. Souza, «Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system», *Agric Water Manag*, vol. 203, pp. 311–321, Abr. 2018, doi: 10.1016/j.agwat.2018.03.028.

Apêndice I - Comunicações em conferência

- Alexandra Afonso, Ana Lopes, Alexandra Parreira, Adelaide Almeida, **Margarida Oliveira**, Fátima Carvalho. (2021) “Olive mill irrigation water and fertilizer obtained by immediate one step lime precipitation and atmospheric CO₂ carbonation process” Comunicação *Shotgun*. *4th International Caparica Conference on Pollutant Toxic Ions & Molecules* (PTIM), Caparica, Portugal. Novembro/2021. (Prémio de melhor poster)
- Adelaide Almeida, Alexandra Afonso, **Margarida Oliveira**, Patrícia Palma, Margarida Pereira, Mariana Regato, Maria João Carvalho, Teresa Santos, Carlos Ribeiro, Fátima Carvalho. (2021) “NETA Project: New Strategies for Wastewater Treatment”. Comunicação oral. *4th International Caparica Conference on Pollutant Toxic Ions & Molecules* (PTIM), Caparica, Portugal. Novembro/2021.
- Fátima Carvalho, Ana Lopes, Alexandra Afonso, **Margarida Oliveira**, Adelaide Almeida. (2021) “How did you waste water today?”. Comunicação oral. *4th International Caparica Conference on Pollutant Toxic Ions & Molecules* (PTIM), Caparica, Portugal. Novembro/2021.
- Alexandra Afonso, **Margarida Oliveira**, Annabel Fernandes, Fátima Carvalho, Ana Lopes, Adelaide Almeida. (2022) “Immediate one-step lime precipitation process for reuse of olive mill wastewater for lettuce crop in hydroponic system”. Comunicação em poster. *3rd International Conference of Ecological and Environmental Engineering* (COEE), Poznań, Polónia. Junho/2022
- Karina Silvério, **Margarida Oliveira**, Fátima Carvalho, Adelaide Almeida. (2022) “Estudo da eficiência de tratamento da técnica de precipitação química em efluentes agropecuários e urbanos”. Comunicação oral. Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias, Santarém, Portugal. Novembro/2022.
- Karina Silvério, **Margarida Oliveira**, Adelaide Almeida, Ivã Lopes, Carlos Ribeiro, Mariana Regato, Fátima Carvalho. (2022) “Using sludge from treated cheese production wastewater as fertilizer for olive and almond tree cultivation”. Comunicação oral. Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias, Santarém, Portugal. Novembro/2022.
- Crislaine Flor, Anabela Durão, Karina Silvério, **Margarida Oliveira**, Adelaide Almeida, Fátima Carvalho. (2022) “Eco-inovação em Processos de Tratamento de Efluentes Agroindustriais e Reutilização de Águas Residuais na Indústria Alimentar”. Comunicação em poster. Congresso Nacional das Escolas Superiores Agrárias, Santarém, Portugal. Novembro/2022.
- **Margarida Oliveira**, Alexandra Afonso, Adelaide Almeida, Maria João Carvalho, Ana Lopes, Fátima Lopes. (2022) “Hydroponic systems for lettuce cultivation using treated olive mill wastewater” Comunicação em poster. XVI Encontro de Química dos Alimentos, Castelo Branco, Portugal. Outubro/2022.

- **Margarida Oliveira**, Alexandra Afonso, Maria João Carvalho, Adelaide Almeida, Ana Lopes, Fátima Carvalho. (2023) “Evaluation of Immediate One-Step Lime precipitation process for olive mil wastewater treatment and application on lettuce crop with hydroponics”. Comunicação em poster. 6º Simpósio de Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável, Elvas, Portalegre. Maio/2023.
- Alexandra Afonso, **Margarida Oliveira**, Teresa Santos, Fátima Carvalho, Annabel Fernandes, Ana Lopes, Adelaide Almeida. (2023) “Tratamento e valorização de águas residuais de lagar de azeite”. Comunicação em poster. 6º Simpósio de Produção e Transformação de Alimentos em Ambiente Sustentável, Elvas, Portalegre. Maio/2023.
- **Margarida Oliveira**, Alexandra Afonso, Maria João Carvalho, Adelaide Almeida, Ana Lopes, Fátima Carvalho. (2023) “Recycled olive oil by-products in a hydroponic system for lettuce crop”. Comunicação oral. 1st Applied Agro-biotechnology International Meeting (AABIM), Beja, Portugal. Maio/2023. (Prémio de melhor comunicação oral).
- Alexandra Afonso, **Margarida Oliveira**, Fátima Carvalho, Manuel Godinho, Carlos Ribeiro, Annabel Fernandes, Ana Lopes, Adelaide Almeida. (2023) “Study of the Potential of Constructed Wetland for Tuning Pre-Treated Olive Mill Wastewater After One-Step Lime Precipitation”. Comunicação em poster. 1st Applied Agro-biotechnology International Meeting (AABIM), Beja, Portugal. Maio/2023.
- Karina Silvério, **Margarida Oliveira**, Adriana Catarino, Fátima Carvalho, Iryna Rehnan, Patrícia Palma, Adelaide Almeida. (2023) “Evaluation of the Efficiency of the Chemical Precipitation Process in Olive Oil Mill Wastewater”. Comunicação em poster. 1st Applied Agro-biotechnology International Meeting (AABIM), Beja, Portugal. Maio/2023.
- **Margarida Oliveira**, Luiz Silva, Carlos Ribeiro, Adelaide Almeida, Flávia Silva. (2023) “Estudo de Metodologias de Extração de Compostos Fenólicos em Azeite Extra Virgem para Caracterização em HPLC-MS”. Comunicação em poster aceite. 15º Latin American Symposium on Food Science and Nutrition (SLACAN), São Paulo, Brasil. Novembro/2023