

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE SANTARÉM

CURSO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA ALIMENTAR

**INOVAÇÃO DE PRODUTO E DE PROCESSO NO TOMATE
DE ESTUFA**

João Pedro Gomes De Jesus

SANTARÉM

2021

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE SANTARÉM
CURSO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA ALIMENTAR

**INOVAÇÃO DE PRODUTO E DE PROCESSO NO TOMATE DE
ESTUFA**

**Dissertação apresentada para obtenção
do grau de Mestre na área de Tecnologia
Alimentar**

Nome: João Pedro Gomes de Jesus

N.º: 150330022

Orientadora: Doutora M.^a Margarida da Costa Ferreira Correia de Oliveira

Coorientadora: Mestre M.^a de Fátima Rodrigues Lopes

SANTARÉM

2021

Agradecimentos

Expresso desta forma os meus agradecimentos a quem contribuiu, direta ou indiretamente, e me ajudou e acompanhou ao longo desta etapa.

À Escola Superior Agrária de Santarém e a todo o corpo docente que contribuiu para a minha formação ao longo do Mestrado, pelos conhecimentos, dedicação e contributo para o meu crescimento enquanto pessoa e futuro profissional.

À orientadora Doutora Margarida Oliveira e coorientadora Mestre Fátima Lopes pela simpatia e disponibilidade no acompanhamento ao longo de todo o processo e, pelo precioso aconselhamento e transmissão de conhecimentos.

À Eng.^a Raquel Saraiva pelo seu amplo e incansável contributo, em especial, na instrução de técnicas laboratoriais, bem como, na elaboração e verificação da dissertação.

À D.^a Ana Teresa Jorge, responsável pela biblioteca da ESAS, pelo aconselhamento na recolha de conteúdo bibliográfico.

À minha família: Mãe, Pai e Tio que, como sempre, me apoiaram, motivaram e deram a oportunidade de prosseguir os estudos.

À minha namorada, cujas razões se alongariam mais que o presente trabalho.

Aos meus amigos e colegas de curso pela comiserção e por me apoiarem e animarem.

À empresa detentora dos locais de ensaio, por possibilitar a realização dos mesmos.

Ao projeto TomatInov PDR2020-101-032136 que é financiado pelo PDR2020 e cofinanciado pelo FEADER no âmbito da Operação - 1.0.1 Grupos Operacionais. FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UID/AGR/04129/2020 (LEAF).

Os meus sinceros agradecimentos a todos!

Abreviaturas

°Brix - Grau Brix

°C – Graus Celsius

ρ – Densidade

ATT – Acidez titulável total

CE – Condutividade elétrica

C/N – Relação carbono/azoto

$dS m^{-1}$ – deciSiemens por metro

ETc – Evapotranspiração da cultura

kWh – kilowatt hora

M - Mol

$M^{-1} cm^{-1}$ – Mol por centímetro

$mg kg^{-1}$ – Miligramas por quilograma

mg/100g – Miligramas por cem gramas

meq/100g – Miliequivalentes por cem gramas

$MJ.m^2$ – Megajoule por metro quadrado

MS – Matéria seca

N – Newton

N/s – Newton por segundo

SST – Sólidos solúveis totais

SST/ATT – Razão (Sólidos Solúveis Totais/Acidez Total Titulável)

ton. – toneladas

ton./ha – Toneladas por hectare

Resumo

A produção de tomate fresco em estufa apresenta uma relevância crescente no mercado. A eficiência de utilização de recursos e o desenvolvimento de frutos de elevada qualidade, constituem o foco deste estudo. Acompanhou-se o ciclo de inverno da cultura de tomate da variedade *Bigram*, num estudo de caso à escala real, na região do Oeste. A variável independente definida foi a temperatura: temperatura ambiente vs. climatizada e, as variáveis dependentes foram as referentes à qualidade do tomate. As condições agronómicas do ensaio foram acompanhadas em tempo real. A análise de fluxos de materiais foi realizada através do *software* STAN 2.6, onde a estufa climatizada apresentou maior eficiência do uso de água e fertilizantes. O peso, calibre e matéria seca foram significativamente superiores na estufa climatizada. O sistema de monitorização alcançou o pleno funcionamento, revertendo dados fidedignos e relevantes. Os resultados revelam a viabilidade técnica do aquecimento em horticultura hidropónica.

Palavras-chave: análise de fluxos de materiais, dados em tempo real, eficiência de recursos, parâmetros de qualidade, tomate hidropónico

Abstract

The production of fresh tomatoes in greenhouses has an increasing relevance in the market. The efficiency in the use of resources and the development of high-quality fruits were the focus of this study. The winter cycle of a tomato culture (variety *Bigram*) was monitored in a full-scale case study in the West region (*Oeste*) of Portugal. The defined independent variable was temperature: room temperature vs. acclimatized, and the dependent variables were those related to tomato quality. The agronomic conditions of the essay were monitored in real time. The analysis of material flows was performed using the STAN 2.6 software, where the acclimatized greenhouse showed greater efficiency in the use of water and fertilizers. Weight, size, and dry matter were significantly higher in the acclimatized greenhouse. The monitoring system was fully operational, providing reliable and relevant data. The results reveal the technical feasibility of heating in hydroponic horticulture.

Keywords: hydroponic tomato, material flow analysis, quality parameters, real-time monitoring, resource efficiency

Índice geral

Agradecimentos.....	i
Abreviaturas	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	3
3. Revisão bibliográfica.....	4
3.1. Cultura do tomateiro	4
3.1.1. Origem e classificação.....	4
3.1.2. Morfologia.....	4
3.1.3. Exigências climáticas.....	5
3.1.4. Necessidades hídricas.....	6
3.1.5. Parâmetros de qualidade do fruto.....	7
3.2. Sistemas hidropônicos.....	14
3.2.1. Fibra de côco.....	16
3.2.3. Solução nutritiva	18
3.2.4. Equipamento básico	20
3.3. Aquecimento de estufas	21
3.3.1. Balanço térmico	21
3.3.2. Sistema de aquecimento.....	22
3.4. Análise de fluxos de materiais	25
4. Material e métodos	27
4.1. Local do ensaio e configuração	27
4.2. Recolha de amostras.....	28
4.3. Análises físico-químicas dos frutos.....	28
4.3.1. Determinação do peso e do calibre	28
4.3.2. Determinação da cor	28
4.3.3. Determinação da textura	29

4.3.4.	Determinação do teor de sólidos solúveis.....	29
4.3.5.	Teor de licopeno	30
4.3.6.	Acidez titulável total	30
4.3.7.	Determinação da matéria seca dos frutos.....	31
4.3.8.	Determinação do pH.....	31
4.4.	Equipamento de monitorização.....	32
4.5.	Monitorização de pragas e doenças	35
4.6.	Análise de fluxos – STAN 2.6	35
4.7.	Avaliação estatística dos resultados	38
5.	Resultados e Discussão	39
5.1.	Análises físico-químicas dos frutos.....	39
5.1.1.	Peso	39
5.1.2.	Calibre	39
5.1.3.	Sólidos solúveis totais (SST).....	40
5.1.4.	Acidez Titulável Total (ATT).....	40
5.1.5.	Relação SST/ATT	41
5.1.6.	pH.....	41
5.1.7.	Matéria seca dos frutos.....	42
5.1.8.	Textura	42
5.1.9.	Cor.....	43
5.1.10.	Teor de licopeno	46
5.1.11.	Avaliação global dos parâmetros físico-químicos dos frutos	46
5.2.	Equipamento de monitorização	46
5.3.	Monitorização de pragas e doenças	47
5.4.	Análise de fluxos - STAN 2.6.....	51
6.	Considerações finais	55
7.	Referências bibliográficas.....	57

Índice de quadros

Quadro 1. Temperaturas cardinais para o desenvolvimento do tomateiro.....	6
Quadro 2. Códigos de calibre e respectivas medidas.	8
Quadro 3. Alterações de cor no processo de amadurecimento do tomate.	9
Quadro 4. Parâmetros de textura e respetivos estados de maturação.	11
Quadro 5. Teor de sólidos solúveis aquando amadurecimento do tomate.	12
Quadro 6. Características físico-químicas da fibra de côco.	17
Quadro 7. Materiais e respetivas quantidades entre ambas as estufas.....	35
Quadro 8. Valores de solução drenada (%).	37
Quadro 9. Valores de poder calorífico do caroço de azeitona.	37
Quadro 10. Valores médios de peso (g) dos frutos nas diferentes estufas.....	39
Quadro 11. Valores médios de calibre (mm) dos frutos nas diferentes estufas.	39
Quadro 12. Valores médios de SST (°Brix) dos frutos nas diferentes estufas.	40
Quadro 13. Valores médios de ATT (%) dos frutos nas diferentes estufas.....	40
Quadro 14. Valores médios da relação SST/ATT dos frutos nas diferentes estufas.....	41
Quadro 15. Valores médios de pH dos frutos nas diferentes estufas.	41
Quadro 16. Valores médios de Matéria seca (%) dos frutos nas diferentes estufas.	42
Quadro 17. Valores médios dos parâmetros de textura dos frutos da estufa B.	42
Quadro 18. Valores médios dos parâmetros de cor dos frutos para ambas as estufas. ...	43
Quadro 19. Dados referentes à monitorização de pragas entre ambas as estufas nas duas datas.....	49
Quadro 20. Valores dos parâmetros calculados para ambas as estufas	53

Índice de figuras

Figura 1. Representação esquemática dos equipamentos para fertirrega numa cultura sem solo	21
Figura 2. Classificação dos sistemas de aquecimento de estufas	23
Figura 3. Fontes de energia utilizadas no aquecimento de estufas	24
Figura 4. Caldeira de aquecimento e depósito de biomassa	27
Figura 5. Ventoinhas de circulação de ar	27
Figura 6. Sonda de temperatura	27
Figura 7. Preparação da amostra (a). Determinação do teor de sólidos solúveis (b)	30
Figura 8. Determinação da acidez titulável total	31
Figura 9. Calibração do condutivímetro (a). Leitura da amostra (b)	31
Figura 10. Bandeja de inox artesanal	32
Figura 11. Sensores de humidade e temperatura (acima). Unidade de controlo do equipamento.....	33
Figura 12. Conjunto dos sensores do equipamento (1 - sonda RESIPREL PT-100; 2 - sonda PH HI1001; 3 - sonda EC HI3002; 4 - pluviómetro de báscula PM1; 5 - sonda DHT22; 6 - célula de carga RSC-1)	33
Figura 13. Apresentação dos dados em tempo real na interface gráfica.	34
Figura 14. Histórico de dados.	34
Figura 15. Esboço do sistema da estufa A.	36
Figura 16. Esboço do sistema da estufa B.	36
Figura 17. Adulto de Mosca branca.....	50
Figura 18. Galeria de <i>Tuta absoluta</i>	50
Figura 19. Clorose associada a deficiência nutricional	50
Figura 20. Folhas afetadas com Míldio	50
Figura 21. Galeria de larva mineira	50
Figura 22. Fruto deformado	50
Figura 23. Sistema de análise de fluxos da estufa A elaborado em STAN.....	52
Figura 24. Sistema de análise de fluxos da estufa B elaborado em STAN.....	52

1. Introdução

O tomate (*Solanum lycopersicum*) é um dos vegetais mais consumidos do mundo e é nutricionalmente bastante equilibrado, contendo quantidades substanciais de licopeno e vitaminas do complexo A, B e C. O seu cultivo decorre essencialmente em regiões de clima tropical, subtropical ou temperado (Brasceso *et al.*, 2019).

Segundo o INE (2019), nos anos de 2017 e 2018, o tomate para consumo em fresco em Portugal alcançou uma produtividade média de 74 ton./ha e foi a cultura hortícola com maior produção total (104 mil toneladas), seguido da cenoura (92 mil toneladas) e da couve-repolho (79 mil toneladas), permitindo deste modo constatar que é também uma cultura de grande importância económica para o país. Ainda segundo o mesmo autor, da totalidade de área ocupada com a cultura de tomate, 8,6% correspondia a tomate para consumo em fresco, que assegura 7,8% da produção total de tomate. Assim, apesar da maior parte do cultivo de tomate ser realizado ao ar livre, a produção em estufa é cada vez mais importante uma vez que permite o cultivo durante todo o ano e, em especial porque permite ajustar a época de produção às janelas de mercado através do condicionamento ambiental.

A produção de culturas abrigadas e em substrato pode revelar-se exigente a nível económico e técnico, requerendo por vezes assessoria técnica. No entanto, tem-se revelado – em especial na região Oeste de Portugal, onde tem bastante aceitação – como uma alternativa viável para produzir de forma intensiva e rentável, permitindo ultrapassar as limitações do solo e o condicionamento do clima (Miranda *et al.*, 2004; Mourão *et al.*, 2013). Apesar das alterações se repercutirem mais rapidamente devido ao condicionamento do sistema radicular, a gestão dos *inputs* é mais eficaz, dada a pressão em produzir de forma mais eficiente por forma a maximizar a rentabilidade, cumprir com a responsabilidade ambiental e, concomitantemente, conceber produtos de qualidade sensorial consistente e sem resíduos (Miranda *et al.*, 2004; Louro & Reis, 2020).

Nesse sentido, este estudo propôs-se a acompanhar o ciclo de inverno de duas culturas de tomate desenvolvidas em condições distintas (estufa à temperatura ambiente vs. estufa climatizada) na região do Oeste, em Portugal, e avaliar as eventuais diferenças de qualidade do produto final, bem como, acompanhar a implementação em estufa climatizada de um equipamento de monitorização em tempo real, à escala piloto, que através de diversos sensores em associação com um equipamento central de gestão, detetam e transmitem de forma direta e conveniente as variáveis agronómicas, possibilitando a sua consulta através de um computador ou *smartphone*.

Visando também a otimização de recursos, realizar-se-á uma análise de fluxo de materiais coadjuvada com o *software* STAN 2.6, que permite realizar um modelo de sistema baseado em processos e fluxos de importação e exportação, possibilitando a reconciliação dos dados e resolução de problemas de incerteza e de conflitos de dados (Cencic & Rechberger, 2008).

Inserido no 2º ano do Mestrado em Tecnologia Alimentar este trabalho enquadra-se no projeto de investigação TomatInov, cuja entidade responsável é a Escola Superior Agrária de Santarém.

A temática referente ao equipamento de monitorização contínua em tempo-real foi abordada no artigo "*Inovação de produto e de processo no tomate de estufa: monitorização em tempo real de parâmetros agronómicos*" (**Anexo I**) publicado na *Revista UI_IPSantarém*, edição temática Ciências Naturais e do Ambiente, volume 8, número 3.

2. Objetivos

Definiu-se como o principal objetivo o acompanhamento do desenvolvimento de um produto - tomate *premium* - tendo por base um processo produtivo que visa incrementar a eficiência de utilização dos recursos, nomeadamente a água e fertilizantes e, concomitantemente contribuir para a melhoria nas características organolépticas e produtividade.

São também objetivos:

- Acompanhamento agronómico do ciclo de produção;
- Acompanhamento da implementação de um equipamento de monitorização de variáveis agronómicas em tempo real, à escala piloto, na estufa climatizada;
- Analisar os fluxos de materiais para a cultura de tomate em estufa, recorrendo à utilização do *software* STAN 2.6, com o objetivo de otimizar os recursos (água, fertilizantes e fitofármacos);
- Analisar e comparar alguns parâmetros físicos, químicos e reológicos das amostras entre ambas as estufas;
- Determinar eventuais diferenças no produto final, tendo em conta as diferentes condições de desenvolvimento entre ambas as culturas.

3. Revisão bibliográfica

3.1. Cultura do tomateiro

3.1.1. Origem e classificação

O tomate detém uma grande presença na gastronomia mundial e apresenta bastante potencial em termos de comercialização, tanto para consumo em fresco como para processamento, sendo desta forma importante continuar a desenvolver estudos e recolher informações acerca do processo produtivo deste fruto.

O tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) é um fruto que deriva de uma planta pertencente à família *Solanaceae* originária da América do Sul, entre o Equador e o Chile (Fontes & Silva, 2002; Ríos *et al.* 2003). No entanto foi no México que ocorreu a sua domesticação por parte dos Astecas, sendo posteriormente, no século XVI, introduzido na Europa sob a forma de frutos com coloração amarela que originaram a designação italiana: *pomodoro*. (Almeida, 2006; Jones Jr., 2007; Gentilcore, 2010).

As primeiras plantas foram introduzidas em Itália e Espanha, sendo que no resto da Europa eram temidas como venenosas, e como tal eram utilizadas apenas como ornamentais (Rios *et al.*, 2003; Coronel & Castillo, 2009). Porém, no início do século XX, com o desenvolvimento da indústria do processamento, rapidamente a cultura ganhou expressão mundial e importância económica (Portas *et al.*, 1986; Almeida, 2006; Gentilcore, 2010).

3.1.2. Morfologia

O tomateiro, embora cultivado de forma anual, é uma planta herbácea perene e apresenta porte variável entre ereto e prostrado. Em termos de estrutura, uma vez que é uma planta angiospérmica, divide-se em: raiz, caule e folhas (Almeida, 2006; Semillaria, 2015).

A planta apresenta um sistema radicular axial vigoroso, que realiza as funções de suporte, armazenamento e absorção, em que de uma raiz principal mais densa derivam raízes secundárias laterais e adventícias e, desenvolve-se essencialmente nos primeiros 0,5 metros de profundidade, no entanto pode alcançar maiores profundidades (Anderlini, 1982; Almeida, 2006; Dam *et al.*, 2006; Monardes, 2009).

Relativamente ao caule, apresenta um sistema condutor de água e minerais, sustentando as estruturas fotossintéticas. É sólido, peludo, áspero e glandular, alcançando entre os 0,5 metros e mais de 2 metros de altura. Nas culturas horto industriais utilizam-se cultivares de crescimento determinado, no entanto, em estufa utilizam-se cultivares de crescimento indeterminado, havendo recurso a empa e tutoragem. A principal diferença, além do crescimento vegetativo, reside no facto das cultivares de crescimento indeterminado

produzirem inflorescências durante toda a vida, não apresentando um período limitado de floração como nas cultivares de crescimento determinado (Almeida, 2006; Dam *et al.*, 2006; Monardes, 2009).

As folhas são compostas imparipinuladas e constituem as estruturas fotossintéticas da planta. Apresentam sete a nove folíolos pubescentes e inserção alterna. Os caules, folhas e pedúnculos ao reagirem ao toque, apresentam tricomas glandulares que libertam um odor característico. As inflorescências diferenciam-se no meristema apical do caule, mas também assumem posição no caule, entre as folhas, e possuem 5 a 12 flores. As flores apresentam corola amarela, são hermafroditas, actinomorfas e apresentam ovário supero e seis pétalas. A polinização é majoritariamente autogâmica, sendo favorecida por insetos como as abelhas e abelhões (Anderlini, 1982; Peralta *et al.*, 2005; Almeida, 2006; Dam *et al.*, 2006; Monardes, 2009).

3.1.3. Exigências climáticas

A cultura do tomate aquando plantação dentro da sua época de produção (Primavera-Verão) apresenta três ciclos: curto (90 a 110 dias), médio (100 a 120 dias) e longo (110 a 125 dias) (Cermeño, 1988; Garcia *et al.*, 2011; Jones, 2013). Na região do Oeste é cultivado em estufa, fora da sua época normal de produção, apresentando de um modo geral dois ciclos de produção mais longos: plantação de fevereiro a junho (150 dias) e plantação de julho a dezembro (170 dias).

O tomateiro é uma planta de estação quente, por consequência extremamente sensível ao frio e à geada e exigente em temperaturas (**Quadro 1**), no entanto não apresenta grandes exigências em termos de fotoperíodo e qualidade da luz. O mesmo não se verifica em termos de quantidade de luz, em que a cultura é muito exigente, em especial nas fases de floração e vingamento onde a intensidade luminosa mínima é de 0,85 MJ.m². A existência de diversas cultivares confere à cultura uma adaptação a um vasto leque de condições climáticas (Almeida, 2006; Dam *et al.*, 2006; Shamshiri *et al.*, 2018).

No **Quadro 1** podemos observar as temperaturas mínimas, ótimas e máximas que a cultura exige nas diversas fases do seu desenvolvimento.

Quadro 1. Temperaturas cardinais para o desenvolvimento do tomateiro.

Parâmetros	Temperatura (°C)		
	Mínima	Ótima	Máxima
Germinação	6-11	16-29	35
Desenvolvimento de plântulas	18	21-24	32
Crescimento vegetativo	8-12	22-25	32
Crescimento da raiz		15-19	
Taxa de assimilação líquida		25-30	
Floração		21	
Vingamento dos frutos	10	18-24	32
Maturação do fruto	10	20-24	30
Temperatura do solo		15-24	34

Short *et al.*, 2005; Almeida, 2006; Dam *et al.*, 2006.

Além da temperatura, a humidade relativa também representa grande importância no desenvolvimento da cultura do tomate, afetando a evapotranspiração, a incidência de pragas e doenças e a polinização. Numa situação ideal, em estufa, a humidade relativa ronda os 70% a 80%, sendo que para valores de humidade relativa muito altos (por volta de 90%) existe o favorecimento do aparecimento de doenças causadas por fungos, bem como reduz a tolerância das plantas a condições secas repentinas. Quando a valores de humidade relativa elevados se associam condições de baixa luminosidade, existe agregação dos grãos de pólen e dificuldades na polinização (Maroto, 2002; Almeida, 2006; Nepi *et al.*, 2010; Marín, 2016; Shamshiri *et al.*, 2018).

3.1.4. Necessidades hídricas

O fornecimento de água apresenta extrema importância, especialmente nas culturas em estufa onde as plantas estão cobertas, impossibilitando o acesso direto à água da chuva. As plantas precisam de água principalmente para o processo de transpiração, que possibilita a regulação de temperatura e o transporte de minerais absorvidos na raiz. A transpiração das plantas é influenciada pela luz do sol, humidade relativa, temperatura e velocidade do vento (Dam *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2013; Qaderi *et al.*, 2019).

O tomateiro é uma planta com sensibilidade ao excesso e ao défice de água e por isso os seus efeitos são variáveis consoante o estado de desenvolvimento da cultura, devendo por isso fornecer-se uma quantidade de água igual ou ligeiramente inferior à evapotranspiração da cultura (ETc), por forma a garantir um equilíbrio entre a produtividade e a qualidade (Cermeño, 1977; Almeida, 2006). No período de floração e vingamento o défice de água

pode provocar podridão apical dos frutos e formação de gretas no pedúnculo, conseqüentemente provocando perdas de produtividade. No entanto, o déficit de água no período de crescimento e maturação dos frutos provoca redução do seu peso unitário, mas aumenta o teor de sólidos solúveis (Cermeño, 1977; Almeida, 2006).

As plantas por norma obtêm água a partir do solo, porém, em meios de cultura sem solo as necessidades são idênticas e como tal deve avaliar-se essencialmente a qualidade do substrato para definir o quantitativo total de água e a frequência das regas (Gavilán, 2004). No entanto, o consumo hídrico da cultura depende maioritariamente da época de plantação, do desenvolvimento e necessidades da cultura (Almeida, 2006).

3.1.5. Parâmetros de qualidade do fruto

A realização de análises pós-colheita é uma prática comum e pode ser efetuada consoante diversos objetivos, como a avaliação do desenvolvimento em diferentes condições, inferência de tratamentos pré-colheita na qualidade pós-colheita ou avaliação do efeito de tratamentos pós-colheita na qualidade do produto final em termos de *shelf life* (Moretti, 2006).

As características que o consumidor espera que o produto possua, em conjunto com as características que lhe são inerentes e lhe permitem diferenciar-se individualmente, definem o conceito de qualidade (Ferreira *et al.*, 2003). No entanto, a qualidade não deve ter por base apenas as exigências dos consumidores, deve considerar toda a cadeia, desde o produtor até ao consumidor final, uma vez que, quando o produto alcança o consumidor já atravessou uma série de etapas inerentes à cadeia de produção, onde se registam perdas de qualidade ao longo do processo. Cabe aos produtores maximizar o rendimento e, concomitantemente, desenvolver frutos com bom aspeto, como tal, com poucos danos e resistentes às doenças. Os distribuidores devem assegurar as condições ideais de armazenamento por forma a manter as características sensoriais dos frutos. Na ótica do consumidor o calibre, cor, textura, ausência de deformações e *flavor* são os indicadores que servem de parâmetros de qualidade do fruto. Assim, no processo de compra, é normal optar-se por frutos de cor rosada ou vermelha, firmes, uniformes e sem danos (Stevens *et al.*, 1979; Malundo *et al.*, 1995; Casquet, 1998; Marcos & Jorge, 2002).

Os seguintes parâmetros físicos, químicos ou reológicos são amplamente utilizados em estudos de qualidade pós-colheita de hortícolas:

Calibre:

O calibre e a forma variam consoante a cultivar, sendo a sua preferência definida pelo consumidor e o uso pretendido. Consoante a cultivar os frutos podem apresentar forma redonda, alongada, periforme ou oblata (Kader, 1984; Tanksley, 2004). Segundo FAO (2021), o calibre corresponde ao diâmetro máximo da região equatorial. Ainda de acordo com o mesmo autor, os calibres mínimos foram definidos como: 15 mm no caso do tomate cereja, 30 mm para tomate alongado e 35 mm para tomate redondo, no entanto, aceita-se o embalamento de tomates alongados e redondos com calibre mínimo de 28 mm e 33 mm, respetivamente, caso na sua totalidade não ultrapassem uma margem de 10%. O mesmo se verifica para as restantes categorias, em que podem embalar-se frutos de calibre imediatamente superior ou inferior, não excedendo a mesma margem. No **Quadro 2** apresentam-se os códigos de calibre e os diâmetros correspondentes.

Quadro 2. Códigos de calibre e respetivas medidas.

Código de calibre	Diâmetro (mm)
0	≤ 20
1	$> 20 \leq 25$
2	$> 25 \leq 30$
3	$> 30 \leq 35$
4	$> 35 \leq 40$
5	$> 40 \leq 47$
6	$> 47 \leq 57$
7	$> 57 \leq 67$
8	$> 67 \leq 82$
9	$> 82 \leq 102$
10	> 102

Adaptado de FAO, 2021.

Cor:

A cor é um parâmetro fulcral porque *a priori* transmite-nos a perceção do sabor, da qualidade e do potencial nutricional (Gómez & López Camelo, 2004; Radzevičius *et al.*, 2009). O tomate pode apresentar cor rosada, vermelha, amarela ou alaranjada como

resultado, em termos físicos, da conjugação da cor da epiderme e da polpa (e.g. tomate rosado apresenta polpa avermelhada e epiderme mais desprovida de cor, ao passo que, tomate alaranjado apresenta epiderme amarelada e polpa avermelhada) (Shi & Le Maguer, 2000). Em termos técnicos, para a sua determinação utiliza-se o modelo colorimétrico *CIE Lab*, desenvolvido em 1976 pela CIE que, através de coordenadas de cor, permite defini-la num sistema tridimensional. Este modelo apresenta coordenadas retangulares (L^* , a^* , b^*), sendo que: L^* mede a variação de luminosidade entre o preto e o branco (*value*); a^* refere-se a uma coordenada de cromaticidade do plano cromático e define a cor vermelha ou verde, para valores positivos ou negativos, respetivamente; b^* corresponde a uma coordenada de cromaticidade do plano cromático e define a cor amarela ou azul, para valores positivos ou negativos, respetivamente. Conhecidas as coordenadas retangulares, a localização da cor no espaço é possibilitada pelas coordenadas cilíndricas (L^* , C^* , H°), considerando: L^* corresponde à coordenada de luminosidade; C^* refere-se à coordenada cromática e define a pureza, encontrando-se mais afastada da origem da coordenada para cores mais intensas e brilhantes. C^* pode ser obtido pela seguinte equação: $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$; H° define a tonalidade (*hue*), sendo representada por um ângulo entre 0° e 360° . H° pode ser calculado através de $H^\circ = \arctan(b^*/a^*)$, sendo $a^* > 0$; $b^* > 0$ (Gonçalves *et al.*, 2015).

O **Quadro 3** expressa as alterações de cor no processo de amadurecimento do tomate.

Quadro 3. Alterações de cor no processo de amadurecimento do tomate.

Fase de desenvolvimento	Estado de maturação	Índices de amadurecimento				
		L^*	a^*	b^*	Croma (C^*)	Tonalidade (H°)
Verde maduro	1	62,7	-16,0	34,4	37,9	115,0
Verde rosado	2	55,8	-3,5	33,0	33,2	83,9
Róseo	4	49,6	16,6	30,9	35,0	61,8
Vermelho-claro	5	46,2	24,3	27,0	36,3	48,0
Vermelho maduro	6	41,8	26,4	23,1	35,1	41,3
Vermelho (muito maduro)	6+	39,6	27,5	20,7	34,4	37,0

Adaptado de Cantwell, 2000 citado por Saltveit, 2005.

O estado de maturação na altura da colheita é variável, possibilitado pelo facto de o tomate ser um fruto climatérico, i.e., o seu amadurecimento continuar após ser colhido, iniciando-se na porção distal do fruto e por difusão livre se propagar a toda a sua totalidade (Alexander & Grierson, 2002; Caron *et al.*, 2013).

Textura:

A textura ou resistência mecânica caracteriza o comportamento reológico dos alimentos (Kadam *et al.*, 2003). Nos vegetais, varia principalmente consoante o estado de maturação, as condições climáticas pós-colheita, disponibilidade de água e nutrientes e a variabilidade genética. Pode usar-se como indicador da tolerância dos frutos aos eventuais danos mecânicos durante o transporte e manuseamento desde a colheita à comercialização (Hobson, 1982; Barret *et al.*, 1998; Resende *et al.*, 2004; Saltveit, 2005). Os principais processos físico-químicos responsáveis pela perda de firmeza dos frutos são a diminuição da espessura das paredes celulares no decorrer do processo de maturação, a hidrólise do amido e a perda de turgescência resultante da perda excessiva de água dos tecidos, devido ao diferencial de pressão de vapor da atmosfera do local armazenamento, face aos tecidos do fruto (Sheehy *et al.*, 1988; Lamúa, 2000; Lana & Finger, 2000; Paniagua *et al.*, 2013).

A medição da textura pode ser efetuada através de um ensaio de punção, em que se aplica uma força que deformará o fruto, sendo o resultado expresso num texturograma, i.e., um gráfico de força em função do tempo ou distância percorrida (Gonçalves *et al.*, 2015; Sun *et al.*, 2017). Consoante o material em estudo, o texturograma permite obter cinco parâmetros de textura: dureza, fracturabilidade, adesividade, elasticidade e coesividade e, calcular a gomosidade (dureza \times coesividade) e mastigabilidade (gomosidade \times elasticidade), que são parâmetros secundários (Nunes, 2005).

No **Quadro 4** apresentam-se os parâmetros de textura do tomate ao longo dos diferentes estados de maturação.

Quadro 4. Parâmetros de textura e respectivos estados de maturação.

Estado de maturação	Fracturabilidade (N)	Dureza (N/s)	Módulo Aparente (N/s)	Deformação na rutura (mm)
Verde maduro	2,35	15,84	0,22	12,03
Rosado	2,72	16,92	0,21	12,67
Vermelho-claro	2,04	15,17	0,14	14,41
Vermelho maduro	1,71	15,41	0,095	18,16

N – Newton
s - segundo

Adaptado de Barret *et al.*, 1998.

Teor de sólidos solúveis:

Os sólidos solúveis totais (SST) ou teor de sólidos solúveis (TSS) são medidos por refratometria, expressos em grau Brix, e correspondem ao nível de açúcares totais dos frutos, servindo como indicadores do grau de maturação (Cecchi, 1999; Kader, 2007). Em geral, possuem grande importância no sabor e doçura dos frutos (Kluge & Minami, 1997; Gómez & López Camelo, 2002) e representam os compostos solúveis em água como os açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas e, no caso do tomate em específico, são majoritariamente açúcares (glicose e frutose) resultantes da hidrólise do amido (Zambrano *et al.*, 1996; Moura *et al.*, 1999; Oliveira *et al.*, 1999).

A sua concentração sofre oscilações, por exemplo, aumentando devido às mudanças químicas no decorrer da maturação e diminuindo no período de armazenamento, prejudicando a qualidade do produto final (Bleinroth *et al.*, 1992; Kluge & Minami, 1997; Sadler & Murphy, 2010). Vale ressaltar que o teor de sólidos solúveis totais depende também de fatores como a genética das cultivares, temperatura e disponibilidade de água e nutrientes (Oliveira *et al.*, 1999; Silva & Giordano, 2000).

No **Quadro 5** constam os valores de TSS referentes aos últimos estados de maturação do tomate.

Quadro 5. Teor de sólidos solúveis aquando amadurecimento do tomate.

Estado de Maturação	Teor de Sólidos Solúveis (%)
Verde-maduro	2,37
Verde-rosado	2,42
Vermelho-claro	5,15

Fonte: Cantwell, 2000 citado por Saltveit, 2005.

pH:

O pH tem especial importância pois além de afetar o sabor, influencia na conservação do fruto e produtos derivados, para tal não devendo ultrapassar os 4,5 (Raupp *et al.*, 2009). Os valores de pH do tomate maduro oscilam normalmente entre os 4,0 e os 4,8 (Saltveit, 2005), tendo-se comprovado que no decorrer da maturação, o seu valor tende a diminuir (Al-Shaibani & Greig, 1979; Ferreira *et al.*, 2012). Porém, em primeira instância, fatores como a variedade, senescência, épocas de colheita e de produção e localização da cultura também podem contribuir para que os valores de pH sejam significativamente diferentes (Borguini, 2006). No pós-colheita, segundo Pazinato e Galhardo (1997) os valores de pH oscilam consoante as condições de armazenamento: temperatura, humidade relativa do ar e atmosfera controlada.

Acidez titulável total (ATT):

Segundo Cantwell (2004) e Sadler e Murphy (2010) o tomate apresenta valores de acidez entre os 0,2% a 0,6%, sendo os valores referentes ao ácido cítrico pois, no caso do tomate, é o ácido predominante. Como referido anteriormente, os açúcares tendem a aumentar gradualmente com o amadurecimento do fruto, no entanto, verifica-se o contrário com a acidez, aumentando apenas no início do amadurecimento e diminuindo daí em diante (Garelli, 1994; Sadler & Murphy, 2010). É comum o estudo da razão entre os açúcares e a acidez titulável total (SST/ATT) pois esta permite não só caracterizar o estado de maturação, como também inferir conclusões acerca do sabor (Zambrano *et al.*, 1996; Sadler & Murphy, 2010). Idealmente, os valores da razão devem ser elevados, indicando sabor suave e relação entre doçura e acidez excelente, uma vez que no caso de os valores serem baixos o sabor tende a ser ácido (Zambrano *et al.*, 1996). De acordo com Sadler e Murphy (2010), nos frutos maduros, o clima, variedade e as práticas agrícolas são os

fatores que mais influenciam esta razão. Para Kader *et al.* (1978), tomate de elevada qualidade possui 0,32% de ATT, 3% de SST e uma razão SST/ATT superior a 10.

Teor de licopeno:

O tomate é uma grande fonte de carotenoides, em especial Licopeno (cor vermelha) e β -caroteno (cor amarelada), que se acumulam rapidamente no processo de amadurecimento e, em simultâneo com a degradação da clorofila são responsáveis pelas alterações de cor (Shi & Le Maguer, 2000; Carrillo-López & Yahia, 2014). A temperatura tem especial influência na síntese de licopeno pois, no processo de maturação, caso se registem baixas temperaturas não há degradação da clorofila pela clorofilase, não havendo acumulação de licopeno. No caso de se registarem temperaturas elevadas, a síntese de licopeno é inibida, a clorofila desaparece e o β -caroteno acumula-se, originando frutos de cor amarelada (Shewfelt *et al.*, 1988). Além de influenciar a cor, o licopeno apresenta grande potencial antioxidante, no entanto, é importante do ponto de vista da qualidade sensorial e da saúde que seja degradado através de isomerização e oxidação (Shi & Le Maguer, 2000).

O teor de licopeno mede-se por espectrofotometria, no entanto, este método é exaustivo e moroso. Como tal, desenvolveram-se estudos (e.g. Davis *et al.*, 2002) sobre a correlação entre valores de cromaticidade e o teor de pigmentos de diferentes hortofrutícolas, uma vez que a colorimetria é um método mais expedito e, para o tomate em específico, existe uma boa correlação entre as leituras colorimétricas e os teores de licopeno (D'Souza *et al.*, 1992; Arias, *et al.*, 2000 citado por Carvalho, *et al.*, 2005).

Segundo D'Souza *et al.* (1992), usando as coordenadas do modelo colorimétrico CIE Lab , através da correlação $\left(\left[\frac{a^*}{b^*}\right]\right)^2$ é possível demonstrar o teor de licopeno melhor que através de qualquer outro índice acromático.

Segundo Khamis *et al.* (2017) o teor de licopeno pode ser obtido diretamente através de dois métodos: teórico e experimental.

O método teórico tem como base o coeficiente de extinção molar de licopeno em hexano ($17,2 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e foi descrito por Markovic *et al.* (2006) citados por Ravelo – Pérez *et al.* (2008).

Inicialmente obtém-se a absorvência (A) pela Lei de Beer-Lambert que estipula a seguinte **equação 1** (Khamis *et al.*, 2017):

$$A_{503} = \varepsilon \times b \times c \quad \text{Eq. 1}$$

ε – Absorvência molar ($M^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

b – Caminho ótico (cm)

c – Concentração de licopeno (M)

Em seguida, obtém-se a **equação 2** por substituição do coeficiente de extinção molar do licopeno em n-hexano ($17,2 \times 10^4 M^{-1} \text{ cm}^{-1}$) e a respetiva massa molar (536,9 g/mol), obtendo-se o teor de licopeno (mg kg^{-1}) (Khamis *et al.*, 2017):

$$\text{Licopeno (mg kg}^{-1}\text{)} = ((A_{503} \times 31,2))/(m \text{ (g)}) \quad \text{Eq. 2}$$

No caso do método experimental, com base nos dados experimentais, é possível obter a reta de regressão baseada na curva de calibração. Assim, obtém-se a **equação 3** que determina o teor de licopeno (Khamis *et al.*, 2017):

$$\text{Licopeno (mg kg}^{-1}\text{)} = ((A_{503} + b) \times 33,1)/(m \text{ (g)}) \quad \text{Eq. 3}$$

b – Valor da equação da reta correspondente às ordenadas dos valores de Abs_{503}

Um ensaio desenvolvido por Bordean *et al.* (2009) registou um teor médio de licopeno de 12 mg/100g para tomate fresco, obtendo valores relativamente superiores para produtos derivados (e.g. *ketchup*, polpa). De acordo com Yahia (2010), o tomate fresco apresenta teor de licopeno de 0,72-20 mg por cada 100 g de peso fresco. Hart e Scott (1995) consideram que o tomate fresco possui entre 30 a 50 mg kg^{-1} , sendo que variedades mais vermelhas possuem teores superiores, como 150 mg kg^{-1} , e variedades mais amarelas contêm apenas cerca de 5 mg kg^{-1} .

3.2. Sistemas hidropónicos

O conceito de cultivo sem solo, pressupõe o desenvolvimento de culturas fora do solo in situ e realiza-se há milhares de anos. Inicialmente desenvolvido pelos egípcios em 1460 a.C. nas águas do Nilo, evoluindo para os Jardins Suspensos da Babilónia (605 a.C.), passando pelos Aztecas em 1325 que cultivavam nas margens do lago Texcoco (Carruthers & Patrick, 1993; Louro & Reis, 2020). Desde então, ao longo dos anos, diversos investigadores contribuíram para a evolução desta técnica, tendo no século XIX sido definidos os conceitos básicos para o crescimento hidropónico. Mais tarde, na década de 20, Fred Pember e George Adams, adaptaram o conhecimento laboratorial à escala

comercial e avançaram com o cultivo sem solo, utilizando areia (The Encyclopedia Americana, 2002). No final da mesma década, em 1929, o estudo intensivo das CSS foi popularizado à escala comercial, por W. F. Gericke na Califórnia, utilizando água com nutrientes para colmatar as limitações do solo. Ainda que na altura a viabilidade económica do CSS em solução nutritiva fosse baixa, os resultados foram promissores e, posteriormente, ao longo do século foram realizados diversos ensaios com o objetivo de formular uma solução nutritiva, bem como definir que substratos teriam potencial agrícola e viabilidade económica. (Resh, 2002; Roberto, 2003; Jones Jr., 2005; Louro & Reis, 2020; Sutherland, 2020).

Como foi referido anteriormente, no decorrer do século XX, diversos estudos foram conduzidos com vista a estudar o potencial de diversos materiais e a sua utilização como substratos de cultivo (Louro & Reis, 2020; Sutherland, 2020). Essencialmente a partir dos anos 30, iniciou-se o aparecimento dos primeiros meios de cultivo, em que se utilizavam misturas de materiais não padronizados (e.g. argila, estrume, carvão ou resíduos vegetais), passando pela utilização de misturas de solo esterilizado com turfa, vermiculite, perlite e, por fim, no anos 80, culminando na utilização da lã de rocha (substrato mineral) e fibra de côco (substrato orgânico) que, em parte devido ao desenvolvimento dos plásticos na agricultura, contribuíram para o incremento do interesse no CSS (Roberto, 2003; Gavilán, 2004; Miranda *et al.*, 2004; Louro & Reis, 2020).

O solo apresenta diversas funções na produção vegetal: suporte das plantas, fornecimento de água e nutrientes e fornecimento de oxigénio às raízes. Estas funções são transversais aos sistemas de cultivo sem solo (CSS) (Resh, 2002).

Nos sistemas de CSS em substrato a função de suporte é assegurada pelo próprio substrato e por tutores, se necessários. O fornecimento de água, nutrientes e oxigénio às raízes é assegurado pela solução nutritiva. Em termos de oxigenação, é também assegurada através da alternância de rega, promovendo a renovação do ar nos macroporos (Resh, 2002; Almeida & Reis, 2017; Levy, 2020).

Considere-se que não existe um substrato ideal para todas as condições, havendo por isso vantagens e desvantagens entre os diversos substratos, assim, a sua escolha deve basear-se em considerações de ordem técnica, económica e ecológica (Almeida & Reis, 2017; Vinci & Rapa, 2019).

3.2.1. Fibra de côco

Os problemas ambientais associados à eliminação dos resíduos dos substratos de cultivo contribuíram para a adoção de substratos que utilizem resíduos orgânicos, compostados ou não, e menos agressivos para com o ambiente, como é o caso da fibra de côco (Gavilán, 2004; Inden & Torres, 2004). Diversos materiais (e.g. serradura, casca de arroz, etc.), abundantes e baratos em determinadas regiões, são utilizados como base no desenvolvimento de substratos de utilização mundial. No entanto, tal como como outros materiais orgânicos, apresentam problemas de variabilidade quanto às suas características, relacionados com a sua origem, cultivar, estado de maturação e altura da colheita, exigindo que haja cuidado na escolha dos produtos disponíveis no mercado (Almeida & Reis, 2017; Goddek *et al.*, 2019).

A fibra de côco é um produto industrial de origem tropical. As fibras longas provenientes do exocarpo e mesocarpo do côco (vulgo casca) são utilizadas na indústria têxtil, no entanto, no decurso da sua extração resultam fibras curtas e partículas relativamente finas (vulgo “pó” de côco), ricas em celulose e lenhina, que se utilizam na elaboração do substrato. Consoante a finalidade, existe uma vasta gama de “fibras de côco” que se pode optar, diferindo entre si na composição da mistura dos seus componentes principais (Satyanarayana *et al.*, 1981; Olle *et al.*, 2012; Almeida & Reis, 2017; Maucieiri *et al.*, 2018). Além da composição, também podem existir diferenças na embalagem, sendo comercializadas maioritariamente sob três formas: vaso de poliestireno, saco de polietileno e manga de polietileno ou poliestireno (Miranda *et al.*, 2004).

No **Quadro 6** consta a caracterização físico-química da fibra de côco.

Quadro 6. Caraterísticas físico-químicas da fibra de côco.

Caraterística	Valor	Interpretação
Densidade aparente (g/cm ³)	0,06	Baixa
Porosidade total (% volume)	95	Alta
Capacidade de arejamento (% volume)	35-50	Alta
Água facilmente disponível (% volume)	15-25	Média baixa
Água de reserva (% volume)	5-15	Média alta
Capacidade de troca catiónica (meq/100g)	50-90	Média alta
pH	5,0-6,3	Ligeiramente ácido
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,3-3,5	Não salino – Salino
Relação C/N (%)	100	Alta
Lenhina (%)	35-45	Alta
Celulose (%)	23-43	Alta
Hemicelulose (%)	3-12	Baixa

Fonte: Miranda *et al.*, 2004; Gavilán, 2015; Goddeck *et al.*, 2019.

A fibra de côco apresenta uma grande capacidade de retenção de água (até oito vezes o seu peso), porém devido à sua grande abundância de microporos, torna grande parte dessa água dificilmente disponível (Abad *et al.*, 2002; Fornes *et al.*, 2003; Noguera *et al.*, 2003). A sua elevada capacidade de troca catiónica permite alternar entre regas com solução nutritiva e regas de água apenas, sendo, no entanto, recomendável realizar fertirrigação contínua do ponto de vista nutricional. Este substrato apresenta grande aptidão para culturas ornamentais, na medida em que a sua elevada percentagem de lenhina e celulose e baixa percentagem de hemicelulose, lhe conferem grande resistência à degradação, perdendo anualmente menos de 5% do seu volume (Satyanarayana *et al.*, 1981; Carrijo *et al.*, 2002; Miranda *et al.*, 2004; Kosseva *et al.*, 2017).

Em termos de nutrientes, a sua presença é variável, no entanto sabe-se que a fibra de côco possui valores elevados de fósforo e potássio e valores baixos de cálcio e magnésio (Meerow, 1995; Evans *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2002).

A fibra de côco é comercializada sob três formas (Miranda *et al.*, 2004):

- Manga de polietileno ou polipropileno negro, coberta com uma capa de polietileno branco ou preto;
- Saco ou almofada de polietileno branco ou preto;
- Vaso de vários materiais, comumente utiliza-se poliestireno expandido.

Para qualquer das formas acima mencionadas, o volume de substrato recomendado por planta de tomate é de 4 a 6,5 litros (Miranda *et al.* 2004).

3.2.3. Solução nutritiva

A planta através do sistema radicular absorve água e nutrientes que, num sistema de cultura sem solo, são fornecidos pela solução nutritiva que pode conter os mesmos minerais que as culturas em solo. A solução nutritiva é desenvolvida com base numa solução altamente concentrada – solução mãe – que desta forma permite economizar na água, uma vez que não necessitará de tanta água na sua preparação (Carpena *et al.*, 1987; Adams, 1994; Resh, 2002; Almeida, 2006).

Assim, a solução nutritiva deve apresentar equilíbrio em relação à concentração de nutrientes que a constituem, por forma a satisfazer a absorção ótima da cultura uma vez que tanto o excesso como o défice de elementos nutricionais são prejudiciais à cultura (Miranda *et al.*, 2004). O equilíbrio e concentração da solução à entrada não é o mesmo que no substrato, havendo aumentos na concentração de alguns elementos (Ca, S, Fe, B, Mg, Zn) e decréscimos de outros (P, K, Mn). Estas oscilações ocorrem na maioria dos nutrientes devido a fenómenos de sinergismo e antagonismo no processo de absorção (Canovas, 1995).

Ainda que alguns autores sugiram formulações universais de soluções nutritivas (e.g. Hoagland & Arnon, 1938, Cooper, 1979, Steiner, 1984), na prática, é difícil utilizar-se uma solução nutritiva universal pois existem vários fatores que influenciam o equilíbrio e a concentração da solução nutritiva (Baron *et al.*, 2018).

São fatores que afetam o equilíbrio e concentração da solução nutritiva:

Estado fisiológico da cultura:

O consumo nutricional não é constante, havendo maior consumo de azoto numa fase inicial (vegetativa) que baixa ao entrar na frutificação e dá lugar a um elevado consumo de potássio (Miranda *et al.*, 2004).

Época cultural:

No verão o consumo de água e nutrientes atinge o seu pico, havendo mais transpiração e consumo de água do que absorção de nutrientes, como tal, as soluções nutritivas devem ser mais concentradas no inverno que no verão, mantendo o equilíbrio entre nutrientes (Pokluda & Frantisek, 2001; Miranda *et al.* 2004). Idealmente a temperatura deve oscilar entre os 17 °C e os 27 °C, dado que é quando ocorre uma absorção de água e nutrientes mais eficiente. Valores superiores acarretam risco de paralisação fisiológica na absorção de nutrientes (Jones Jr., 2007).

Condições climáticas:

As flutuações de temperatura e luminosidade influenciam a condutividade elétrica (CE) da solução nutritiva. Dias quentes e luminosos trabalha-se com valores de condutividade mais baixos, enquanto dias frescos e nublados requerem um aumento da concentração da solução nutritiva para evitar o estiolamento das plantas (Miranda *et al.*, 2004).

Hora do dia:

A hora do dia também influencia a CE, estando este fator relacionado com o acima mencionado, na medida em que nas horas de maior luminosidade e calor se utilizam valores mais baixos de CE e nas horas mais frias e de menor luminosidade, se utilizam valores mais altos de CE. Exemplo: entre as 10:30h e as 17h pode utilizar-se uma CE de $2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ao passo que nas restantes horas se utiliza uma CE de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$. Alguns ensaios verificaram diferenças significativas de produtividade ao adaptar a CE à hora do dia face a manter uma CE constante (Miranda *et al.*, 2004).

Qualidade da água da rega:

Águas da rega com elevada condutividade apresentam elevada salinidade e falta de nutrientes na solução nutritiva, contribuindo para um desenvolvimento deficiente da cultura. No entanto, uma água de qualidade permite um aumento da concentração de nutrientes que se pretende adicionar à solução nutritiva (Miranda *et al.*, 2004; Combrink, 2019). Exemplo: numa água de qualidade que apresente CE $0,5 \text{ dS m}^{-1}$, pode aumentar-se a CE com adubos em $1,5$ a 2 dS m^{-1} , atingindo-se uma condutividade final da solução nutritiva de 2 a $2,5 \text{ dS m}^{-1}$. A condutividade nunca deve apresentar valores superiores a $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Miranda *et al.*, 2004).

A salinidade da água afeta também a frequência das drenagens, uma vez que uma água mais salina requer drenagens mais frequentes para evitar concentrações de sais demasiado altas no substrato (Canovas, 1995; Combrink, 2019).

Variedade:

Existem variedades com mais vigor que outras, logo as suas necessidades nutritivas, em especial relativas ao azoto, também são diferentes. As necessidades de potássio também variam, algumas variedades são mais sensíveis ao *pufiness* (fruto oco) e ao *blotchy* (amadurecimento por manchas) (Miranda *et al.*, 2004).

Substrato:

Em caso de acumulação de sais no substrato, a fibra de côco apresenta maior dificuldade de lavagem comparativamente à lã de rocha. A lã de rocha pode necessitar de condutividades mais elevadas em dias ou horas do dia mais nublados, quando comparada à fibra de côco (Burés, 1997; Miranda *et al.*, 2004). O intervalo de temperaturas ótimo de desenvolvimento foi estipulado por Harssema (1977) entre os 20 °C e os 30 °C, tendo verificado que a 20 °C, o aporte era mais significativo. Temperaturas inferiores a 15 °C prejudicam a absorção de fósforo e potássio (Alarcón, 2000).

pH:

O pH deve ser monitorizado com frequência para prevenir o entupimento dos gotejadores e tubagens de rega, dado que influencia diretamente a absorção iónica e pode causar a precipitação dos sais dos adubos (Terés, 2001; Becquer *et al.*, 2014; Siebielec *et al.*, 2014; Almeida & Reis, 2017;). Segundo Almeida (2006), para valores entre os 6 e os 6,5 as probabilidades de precipitação de sais são baixas e a absorção de nutrientes é ótima.

3.2.4. Equipamento básico

Um sistema de cultura sem solo requer o seguinte equipamento (Gavilán, 2004; Jones Jr., 2014; Almeida & Reis, 2017; Kozai *et al.*, 2020):

- Tanques para duas ou mais soluções nutritivas concentradas (solução-mãe);
- Tanque para solução de ajustamento de pH (ácido ou base);
- Sensores de condutividade elétrica e de pH na solução de rega;
- Controlador da frequência e duração da rega.

Podem adicionar-se equipamentos além dos acima mencionados, com o objetivo de otimizar e automatizar alguns processos como o controlo de volumes drenados e respetiva condutividade, reutilização ou reciclagem da solução drenada, entre outros destinados a facilitar a condução das culturas (Almeida & Reis, 2017; Kozai *et al.*, 2020).

Na **Figura 1** pode observar-se um esquema com a representação e articulação dos equipamentos utilizados na fertirrigação de culturas sem solo (CSS).

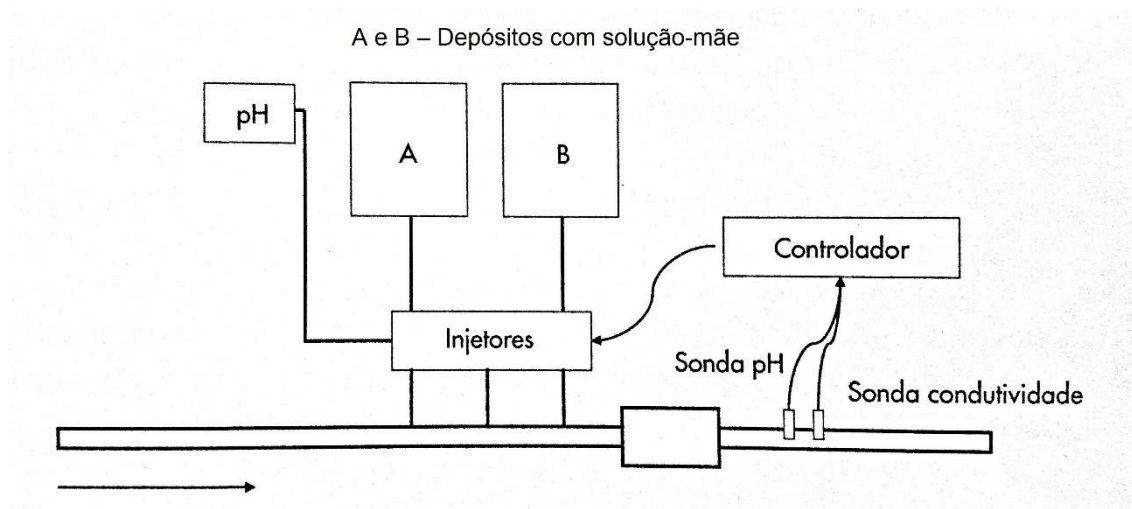


Figura 1. Representação esquemática dos equipamentos para fertirrega numa cultura sem solo (Almeida, 2006).

3.3. Aquecimento de estufas

Quando o efeito de estufa não é suficiente, utilizam-se mecanismos artificiais de aquecimento para elevar as temperaturas de forma ativa (Bailey, 1991; Rodriguez *et al.*, 2001; Cuce *et al.*, 2016; Huang *et al.*, 2020). Consoante o grau de incremento de temperatura em relação ao exterior, podem definir-se três objetivos principais para realizar o aquecimento de estufas: proteção anti geada (grau baixo), promover a precocidade e produtividade (grau moderado) e controlo ambiental (grau alto) que permite produzir culturas megatérmicas em climas ou épocas desfavoráveis (Farias, 1991; Wittwer & Castilla, 1995; Almeida & Reis, 2017).

3.3.1. Balanço térmico

O efeito de estufa está inteiramente relacionado com fatores intrínsecos, relacionados com a estufa (e.g. material de cobertura, orientação da estufa, tipo de estrutura) e com fatores extrínsecos (e.g. clima, cultura). O efeito de estufa ocorre de forma natural devido à limitação em termos de trocas de ar e à incidência da radiação solar (aquecimento passivo) que atravessa o ecrã da estufa, durante o dia, permitindo um aumento da temperatura em relação ao exterior. No entanto, no período noturno o calor é proveniente do solo da estufa, bem como das plantas, recipientes de cultivo e bancadas. Porém, devido à ausência de radiação solar à noite, o balanço térmico neste período é negativo e a temperatura tende gradualmente a igualar a temperatura exterior devido às perdas de calor. (Walker *et al.*,

1983; Mancini & Castrignano,1984; Matallana Gonzales & Montero Camacho, 1993 Almeida & Reis, 2017).

No dimensionamento de um sistema de aquecimento devem ter-se em conta as perdas de calor que ocorrem por processos de:

Convecção e condução (estrutura e cobertura):

É o principal processo de perda de calor, ocorrendo através da cobertura da estufa. As correntes de convecção transmitem o calor até à cobertura interior onde através do processo de condução ocorre o seu atravessamento, sucedendo-se por fim a perda para o exterior por convecção (Matallana Gonzales & Montero Camacho, 1993; Bailey *et al.*, 1994; Martinez & Roca, 2010; Almeida & Reis, 2017).

Infiltração de ar (frestas e janelas):

As estufas são limitadas em termos de trocas de ar, o que permite manter a temperatura acima da temperatura exterior. No entanto, devido às renovações de ar com o intuito de controlar a humidade relativa, existe recirculação das massas de ar com ar proveniente do exterior, causando decréscimo das temperaturas. O número de renovações aumenta quando a velocidade do vento aumenta, no entanto, os cálculos são efetuados para situações de vento calmo, em que por norma ocorrem temperaturas exteriores mais baixas (Mancini & Castrignano,1984; Bailey *et al.*, 1994; Prados, 2007; Martinez & Roca, 2010; Almeida & Reis, 2017).

Condução através do solo:

As propriedades térmicas do solo são difíceis de determinar, como tal, consideram-se 10% do total das perdas ou 10% das perdas por condução – convecção e por infiltração de ar. Existem outras perdas de calor como as perdas de calor latente e as perdas de calor por radiação, porém ainda que desempenhem alguma função no balanço térmico, não são normalmente consideradas no dimensionamento de um sistema de aquecimento uma vez que não acarretam melhorias significativas (Mancini & Castrignano,1984; Matallana Gonzales & Montero Camacho, 1993; Bailey *et al.*, 1994; Martinez & Roca, 2010; Almeida & Reis, 2017).

3.3.2. Sistema de aquecimento

Os sistemas de aquecimento apresentam uma grande diversidade de critérios, como se pode observar na **Figura 2**, no entanto será abordado maioritariamente o sistema semelhante ao utilizado nos ensaios: sistema de aquecimento de ar utilizando biomassa (caroço de azeitona) como combustível.

A. Transferência do calor entre o sistema e o ambiente	A.1. Estáticos
	A.2. Dinâmicos
B. Fluido térmico	B.1. Água
	B.2. Ar
	B.3. Ar-água
C. Fonte de calor	C.1. Combustão
	C.2. Elétrico
	C.3. Geotérmico
	C.4. Solar
D. Área aquecida	D.1. Centralizado
	D.2. Individual
E. Forma de transmissão	E.1. Por convecção
	E.2. Por condução no substrato
	E.3. Por radiação-convecção

Figura 2. Classificação dos sistemas de aquecimento de estufas (Almeida & Reis, 2017).

Os sistemas de aquecimento de ar recorrem a geradores internos ou externos - consoante a sua localização em relação à estufa - para realizar o aquecimento. Em seguida, o ar quente sai diretamente do gerador para a estufa ou é direcionado através de mangas de plástico para o interior da estufa. Os sistemas de aquecimento de ar são maioritariamente dinâmicos, uma vez que o calor é forçado a movimentar-se para aquecer o ambiente, ao contrário dos sistemas de aquecimento de água que são estáticos e a distribuição de calor é irregular porque o calor é transmitido de uma superfície aquecida para o ambiente (López *et al.*, 2001; Martinez & Roca, 2010; Almeida & Reis, 2017).

Os geradores podem apresentar combustão direta ou indireta, sendo a principal diferença o encaminhamento dos gases de combustão. Os geradores de combustão direta transportam o ar para o interior de uma câmara de combustão arrastando gases de combustão à saída. Os gases de combustão podem ter efeitos adversos de fitotoxicidade, porém no caso de se utilizar um combustível limpo os gases podem ser injetados na estufa contribuindo favoravelmente para o aumento da temperatura e da concentração de CO₂ na atmosfera (fertilização carbónica). No caso dos geradores de combustão indireta, a combustão ocorre numa câmara de combustão isolada do ar com escape para o exterior, sendo o ar aquecido por contato com um permutador de calor onde se faz passar uma corrente de ar forçada. O permutador pode também ser aquecido por água quente, sendo

o princípio de funcionamento semelhante (López *et al.*, 2001; Martinez & Roca, 2010; Almeida & Reis, 2017).

Os sistemas de aquecimento convertem as fontes de energia em energia térmica com o intuito de aquecer o ar ou a água que distribuirá o calor na estufa. Na **Figura 3** constam as fontes de energia utilizadas no aquecimento de estufas.

- | | | |
|---|------------------------|--|
| 1. Combustíveis <ul style="list-style-type: none">a. Carvãob. Gasóleoc. Gás<ul style="list-style-type: none">i. Naturalii. Propanoiii. Butanoiv. Biogásd. Madeiras e resíduos vegetais | 2. Eletricidade | 3. Fontes de energia alternativas <ul style="list-style-type: none">a. Geotermia e águas quentes industriaisb. Energia eólicac. Energia solard. Biotérmica |
|---|------------------------|--|

Figura 3. Fontes de energia utilizadas no aquecimento de estufas (Almeida & Reis, 2017).

As fontes de energia mais utilizadas são os combustíveis (alínea 1., **Figura 3**), dos quais se destacam:

Gases:

As caldeiras podem utilizar gás natural ou gases liquefeitos de petróleo (GLP). O gás natural é maioritariamente constituído por metano, é pouco poluente, e pelo facto de não conter enxofre permite que os seus fumos sejam aproveitados na fertilização carbónica. Do ponto de vista técnico é um combustível muito adequado para o aquecimento de estufas (Almeida & Reis, 2017; Vourdoubas, 2018; Bartok Jr. & Grubinger, 2019).

Carvão:

Pelo facto de apresentar elevado teor de compostos de enxofre na sua constituição e produzir fumos corrosivos, este combustível requer caldeiras complexas e caras para maximizar a eficiência da combustão (Mueller, 2013; Almeida & Reis, 2017).

Biomassa: madeira e resíduos vegetais:

O investimento inicial em equipamento, quando comparado com as alternativas mais comuns (gás/gasóleo) é relativamente alto na tentativa de maximizar a eficiência da combustão e permitir a alimentação automática, porém é rapidamente rentabilizado (Chau,

2008). Ainda em comparação, esta fonte de energia origina quantidades baixas de resíduos (cinza), apresenta melhor relação qualidade/preço, mais poder calorífico e, pelo facto de ser uma energia limpa acarreta vantagens ao nível de projetos e programas de desenvolvimento. No entanto, os materiais são volumosos, acarretando um transporte e armazenamento custoso, atendendo também ao facto que o teor de humidade afeta o poder calorífico negativamente. (Freire, 2016; Almeida & Reis, 2017; Bartok Jr. & Grubinger, 2019; Huang *et al.*, 2020).

Gasóleo e fuelóleo:

A principal vantagem do gasóleo é a sua acessibilidade, porém apresenta custos elevados e os produtos resultantes da sua combustão são poluentes. O fuelóleo apresenta um rendimento inferior, mas também custos inferiores (Mueller, 2013; Almeida & Reis, 2017).

O aumento da procura de biomassa pode provocar o aumento do seu custo (Chau, 2008), assim, ainda que o investimento inicial em energias alternativas seja alto, é de considerar a sua utilização pois as energias renováveis estão a dominar gradualmente a geração de energia elétrica (Manique, 2011).

3.4. Análise de fluxos de materiais

Segundo Boelens e Olsthoorn (1998) o conceito de análise de fluxos de materiais é genérico, variando com o contexto a que se aplica. Por exemplo, quando aplicado no contexto empresarial, pode ser usado como indicador do desempenho ambiental da empresa ao nível da gestão ambiental e, neste caso, refere-se à reunião, organização e condensação de toda a informação correspondente ao uso dos recursos e ao seu processamento em produtos e emissões, sendo os limites do sistema definidos pelas instalações da empresa (e.g. infraestruturas de produção e logística). Já no contexto governamental, para a formulação de políticas ambientais, o sistema da análise de fluxos de materiais é limitado pela área onde o governo exerce autoridade e cinge-se geralmente a um único poluente, ao passo que no caso das empresas engloba diversas substâncias. No delineamento de um sistema de análise de fluxos de materiais consideram-se as seguintes etapas (Boelens & Olsthoorn, 1998):

1. Identificar os materiais ou substâncias em estudo;
2. Estabelecer um horizonte temporal;
3. Definir as entradas e ligações dos materiais;
4. Pesquisar e processar dados e informações relevantes;
5. Preparar o sistema, respeitando a Lei da Conservação das Massas.

Já de acordo com Daniels e Moore (2001) e Daniels (2002) a análise de fluxos de materiais refere-se à análise da taxa de transferência nas cadeias de processamento, compreendendo a extração, consumo, fabrico, transformação química, reciclagem e descarte de materiais. Segundo Brunner e Rechberger (2016) a análise de fluxos de materiais consiste numa avaliação sistemática do estado e alterações nos fluxos e reservas de materiais considerando um sistema definido no espaço e no tempo.

Pode afirmar-se que o interesse pela análise de fluxos é crescente, uma vez que em 1975 apenas alguns trabalhos abordavam a temática, ao passo que em 2015 cerca de 5000 publicações foram realizadas, focando essencialmente na engenharia e gestão ambiental, ecologia industrial, gestão de recursos e controlo de desperdícios. Na sua origem, a análise de fluxos cingia-se a descrever e analisar processos singulares, no entanto, nas últimas duas décadas a sua versatilidade aumentou, permitindo analisar sistemas mais complexos como balanços de materiais regionais, fluxos de substâncias em bacias hidrográficas ou até mesmo fluxos de materiais e reservas de economias nacionais ou globais (Brunner & Rechberger, 2016).

O *software* STAN (diminutivo de *subSTance ANalysis*) é uma alternativa viável na análise de fluxos que permite realizar um modelo de sistema baseado em processos (local onde há transformação, transporte, etc.) e fluxos de importação e exportação, com o objetivo de reconciliar os dados e resolver problemas de incerteza e de conflitos de dados (Cencic & Rechberger, 2008; Cencic, 2016). Os problemas de incerteza e conflito de dados surgem muitas vezes em análises de fluxos de materiais em macroescala (e.g. países ou regiões) uma vez que as medições diretas são muitas vezes impossíveis de realizar, levando a que se baseiem em dados estatísticos oficiais ou relatórios de estimativa, estando desta forma sujeitos a incertezas. É possível contornar esta questão através da reconciliação de dados, realizada pelo STAN, que utiliza um modelo estatístico para fornecer valores prováveis (Cencic, 2016).

Desde o seu desenvolvimento em 2006 até 2019, o *software* STAN teve uma utilização crescente, sendo na sua maioria utilizado no âmbito das instituições de ensino (71%) e, subsequentemente, por utilizadores privados, empresas de consultoria, indústria, entre outros (Stan2web, 2020).

4. Material e métodos

4.1. Local do ensaio e configuração

Os ensaios decorreram em duas estufas de hidroponia, pertencentes a uma empresa dedicada à produção de hortícolas em estufa, tendo como cultura principal o tomate para consumo em fresco, localizada na região do Oeste de Portugal (Torres Vedras). Apenas uma das estufas apresentava climatização utilizando biomassa como combustível (caroço de azeitona) (**Figura 4**). A estufa climatizada possuía ventoinhas de circulação de ar (**Figura 5**), 9 sondas de temperatura (**Figura 6**) com *set point* médio de 14 °C e condutas que permitem a canalização do calor emanado pela caldeira para junto das plantas.



Figura 4. Caldeira de aquecimento e depósito de biomassa (Jesus *et al.*, 2020).



Figura 5. Ventoinhas de circulação de ar (Jesus *et al.*, 2020).



Figura 6. Sonda de temperatura (original do autor).

O estudo foi desenvolvido com a variedade *Bigram* de tomate cacho, que apresenta resistência ao vírus do bronzeamento do tomateiro e nemátodos, assim como boa capacidade de vingamento e vigor tanto num elevado espectro de temperaturas. Os frutos possuem calibre e peso elevados, cor vermelha e excelente potencial de conservação pós-colheita (Semillas Fitó, 2021).

4.2. Recolha de amostras

As deslocações foram condicionadas devido à pandemia mundial SARS-CoV-2. Como tal, as amostras da primeira recolha (02 de abril) foram congeladas, por forma a preservar ao máximo as características dos frutos, e analisadas posteriormente no laboratório de hortofrutícolas da Escola Superior Agrária de Santarém, ao passo que as análises das amostras da segunda recolha (25 de maio) foram realizadas no dia seguinte.

O protocolo estipulava a recolha de quinze frutos maduros por linha no total de quatro linhas aleatórias, em cada uma das estufas, com periodicidade de 15 dias. Evitou-se as primeiras linhas e os extremos de cada linha. No entanto, dada a situação, o número de recolhas não coincidiu com o delineado inicialmente.

As estufas foram identificadas como “A” no caso da estufa climatizada e “B” no caso da estufa à temperatura ambiente. Esta classificação é acompanhada por “1, 2, 3 ou 4” mediante a linha aleatória onde os frutos foram colhidos.

4.3. Análises físico-químicas dos frutos

Dos 15 frutos colhidos por linha, selecionaram-se cinco frutos mais adequados para realizar as análises físico-químicas. Para os parâmetros peso, calibre, textura, cor e matéria seca realizaram-se leituras nos cinco frutos, ao passo que, para as restantes análises de carácter destrutivo trituraram-se três dos cinco frutos formando uma mistura homogénea da qual se obtiveram duas leituras, resultantes numa leitura média, para caracterizar cada uma das linhas. O parâmetro textura não foi analisado para a primeira recolha, dado que os frutos foram congelados e analisados posteriormente, afetando assim a textura original dos frutos.

4.3.1. Determinação do peso e do calibre

A pesagem realizou-se individualmente com recurso a uma balança digital *Mettler Toledo AB204-S* (Mettler Toledo, Ohio, EUA), com capacidade máxima de 220 g e repetibilidade e legibilidade de 0,1 mg.

O calibre foi medido na região equatorial de cada fruto com recurso a um peclise/paquímetro digital *Mitutoyo DP – 1VR* (Mitutoyo, Kawasaki, Japão), por forma a determinar o maior diâmetro dos frutos, com alcance máximo de medição do calibrador digital de 150 mm e resolução de 0,01 mm.

4.3.2. Determinação da cor

A medição da cor foi realizada efetuando-se duas medições na parede externa dos frutos na região equatorial, com recurso ao colorímetro de refletância *Konica Minolta CR400*

(Konica Minolta, Osaka, Japão), com 8 mm de diâmetro na área de medição e com iluminação difusa. O colorímetro foi conectado a um computador com o *software Spectramagic Nx* (Konica Minolta, Osaka, Japão), que permitiu determinar os valores das coordenadas da cor. Previamente, realizou-se uma calibração num azulejo branco padrão com os valores de coordenadas: $Y= 84,3$; $X= 0,3178$; $Y= 0,3342$. As coordenadas cromáticas do sistema CIE Lab, luminosidade (L^*), vermelho/verde (a^*) e amarelo/azul (b^*) foram medidas pelo colorímetro, ao passo que o croma (C^*) (**Equação 1**) e o ângulo de tonalidade (H°) (**Equações 2 ou 3**) foram calculados, segundo:

$$C^* = \sqrt{(a^{*2}) + (b^{*2})} \quad \text{Eq. 1}$$

$$H^\circ = (\tan^{-1} b^*/a^*) \quad \text{se, } a^* \text{ e } b^* \quad \text{Eq. 2}$$

$$H^\circ = (\tan^{-1} b^*/a^*) + 180 \quad \text{se, } - a^* \text{ e } b^* \quad \text{Eq. 3}$$

4.3.3. Determinação da textura

A textura foi determinada efetuando-se duas medições na região equatorial do fruto com recurso ao texturómetro *Brookfield QTS-25* (AMETEK Brookfield, Massachussets, EUA) ligado a um computador com o *software TexturePro 2.0*. O ensaio corresponde a um ciclo de punção cuja sonda é uma agulha de aço com 0,5 mm de diâmetro, 10 mm de profundidade e velocidade de 60 mm/min.

Antes de cada medição, ajustou-se o braço móvel próximo à superfície dos frutos que se encontravam na plataforma do texturómetro e procedeu-se às medições.

4.3.4. Determinação do teor de sólidos solúveis

Para determinar o teor de sólidos solúveis (TSS), em °Brix, trituraram-se três frutos correspondentes a uma linha, sem pedúnculo, formando uma amostra triturada homogénea (**Figura 7, a**). O teor de sólidos solúveis foi determinado com um refratómetro digital *ATAGO Pocket Brix-Acidity Meter Multi Fruits PAL-BX-ACID F5* (ATAGO Co., Tóquio, Japão) (**Figura 7, b**). Realizou-se uma medição de calibração com água destilada, seguida de duas medições reais com a amostra homogénea filtrada.

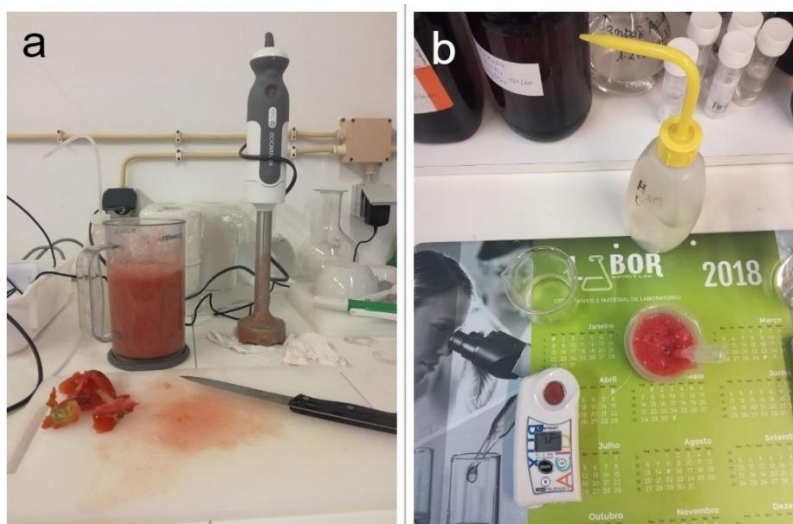


Figura 7. Preparação da amostra (a). Determinação do teor de sólidos solúveis (b) (original do autor).

4.3.5. Teor de licopeno

Congelaram-se em *ependorf* as amostras homogêneas de tomate, por forma a conservar os constituintes para que mais tarde, se realizasse uma leitura de absorvência por espectrofotometria.

4.3.6. Acidez titulável total

A acidez titulável total foi determinada com um refratômetro digital *ATAGO Pocket Brix-Acidity Meter Multi Fruits PAL-BX-ACID F5* (ATAGO Co., Tóquio, Japão) (**Figura 8**) que possui alcance de medição para acidez de 0,1% a 3%, resolução de 0,01% e precisão de $\pm 0,1\%$. Diluiu-se 1 mL da amostra homogênea em 49 mL de água destilada. Em seguida, efetuou-se uma leitura de calibração a seco seguindo-se duas leituras da solução diluída. Os resultados foram expressos em percentagem (%) de ácido cítrico.



Figura 8. Determinação da acidez titulável total (original do autor).

4.3.7. Determinação da matéria seca dos frutos

Para determinar a matéria seca dos frutos, obteve-se o peso dos recipientes (tara) e registou-se o peso inicial dos conjuntos recipiente + amostra homogénea. Em seguida, os conjuntos foram colocados em estufa *Memmert UL-40* (Memmert, Buechenbach, Alemanha) a 65 °C até se obter um peso constante ao longo de várias medições. Por fim, calculou-se a diferença entre o peso inicial e o peso final, excluindo a tara.

4.3.8. Determinação do pH

O pH determinou-se com um condutivímetro *Fiveeasy Plus Benchtop pH Meter FP20* (Mettler Toledo, Ohio, EUA) que possui resolução de 0,01 a 0,1 e precisão de $\pm 0,01$. Realizaram-se duas calibrações iniciais com as soluções fornecidas (**Figura 9, a**) pelo fabricante e, em seguida, efetuaram-se as leituras na amostra homogénea (**Figura 9, b**), limpando-se a sonda com água destilada entre cada leitura.



Figura 9. Calibração do condutivímetro (a). Leitura da amostra (b) (original do autor).

4.4. Equipamento de monitorização

Localizado no centro da estufa, o equipamento monitoriza em tempo real uma bandeja de inox artesanal (**Figura 10**) que abarca quatro plantas repartidas em parilha por duas placas de substrato fibra de coco revestidas a polietileno. O equipamento é constituído por uma unidade de controlo (PLC HORNER XLT 240-C116 (Horner automation, Indiana, EUA) com unidade de expansão SMART STIX HE559ADC970 (Horner automation, Indiana, EUA) (**Figura 11**), responsável por receber e transmitir em tempo real na plataforma *Meteoagri* (ADCON telemetry, Viena, Áustria) – acessível por computador ou *smartphone* - os parâmetros agronómicos detetados pelos sensores acoplados. Os sensores possibilitam a monitorização das seguintes variáveis agronómicas (**Figura 12**): temperatura do substrato [1 - sonda RESIPREL PT-100(Tecnisis, Lda., Lisboa, Portugal)]; pH à saída¹ [2 - sonda PH HI1001(Hanna instruments, Rhode Island, EUA)]; condutividade elétrica à saída¹ [3 - sonda EC HI3002(Hanna instruments, Rhode Island, EUA)]; monitorização do fluxo de saída de água através de um pluviómetro de báscula (4 - PM1); temperatura e humidade do ar [5 - sonda DHT22 (ANAVI technology, Plovdiv, Bulgaria)]; peso do sistema, através das células de carga horizontais e verticais [6 - respetivamente RSC-1 de 50 Kg e RSC-1 de 30 Kg (Remberg, Espanha)]; monitorização do fluxo de entrada de água através do uso de caudalímetro [KOBOLD-DRG DE 1,5 A 30 L/h (Kobold, Hofheim/Taunus, Alemanha)] (Jesus *et al.*, 2020).



Figura 10. Bandeja de inox artesanal (Jesus *et al.*, 2020).

¹ * o pH e CE são medidos na drenagem do sistema, à saída, pois os valores de entrada são registados pelo sistema de rega da exploração. Assim, é possível determinar-se as variações de pH e CE.



Figura 11. Sensores de humidade e temperatura (acima). Unidade de controlo do equipamento.

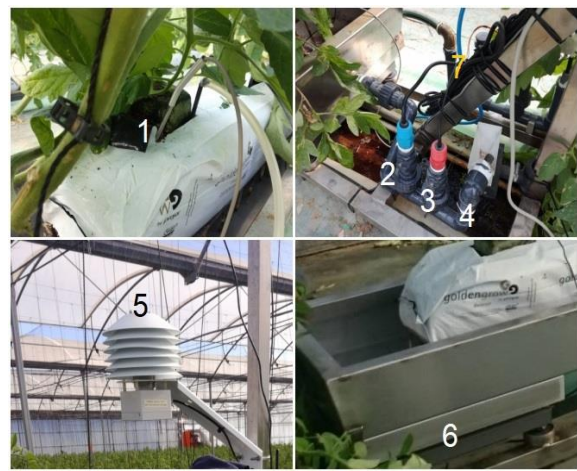


Figura 12. Conjunto dos sensores do equipamento (1 - sonda RESIPREL PT-100; 2 - sonda PH HI1001; 3 - sonda EC HI3002; 4 - pluviómetro de báscula PM1; 5 - sonda DHT22; 6 - célula de carga RSC-1) (Jesus et al., 2020).

Como referido anteriormente, os dados referentes aos parâmetros agronómicos em estudo são apresentados na interface gráfica da plataforma *Meteoagri* (**Figura 13**), passíveis de serem consultados em tempo real em qualquer dispositivo com *browser*. Simultaneamente, o seu registo ocorre a cada 30 segundos e é permitida a sua consulta isolando um parâmetro e/ou período específicos (**Figura 14**). Caso se pretenda, pode optar-se por exportar os dados para que sejam analisados num *software* externo (e.g. *Excel*) com folha de cálculo.

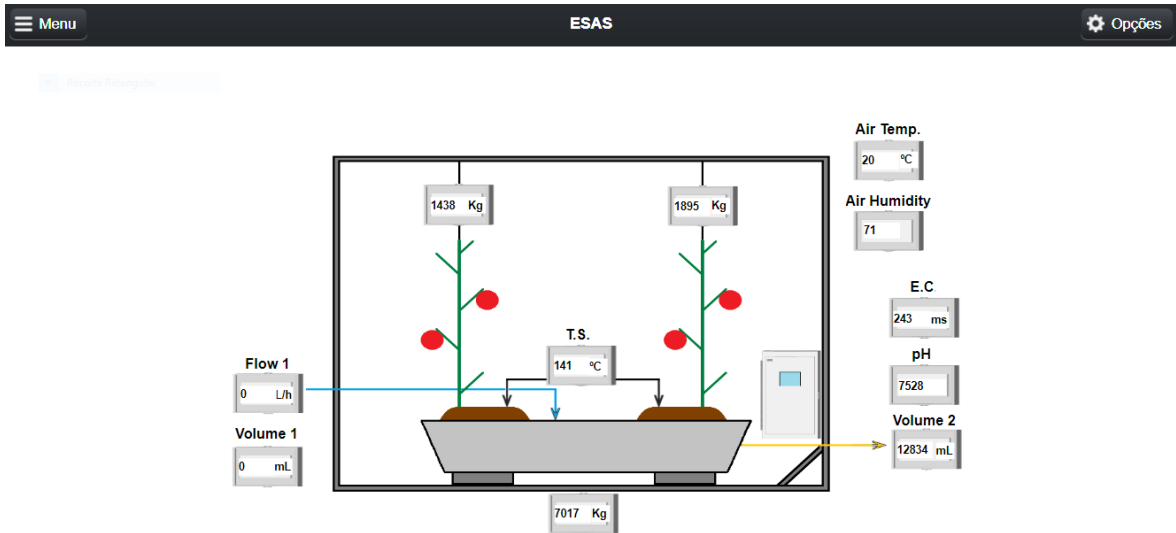


Figura 13. Apresentação dos dados em tempo real na interface gráfica.

The interface shows a table of data history with the following columns: Data, Evento, Flow_L_H_1, Flow_L_H_2, TemperaturePT100, Temperature, Humidade, pH, and Condu. The table contains 31 rows of data. On the right side, there are control options: 'Intervalo de datas:' with a dropdown set to 'Hoje', 'Canais:' with a dropdown set to 'Por defeito', and two buttons: 'Mostrar' and 'Exportar'.

Data	Evento	Flow_L_H_1	Flow_L_H_2	TemperaturePT100	Temperature	Humidade	pH	Condu
03/02/2021 10:57:00	Tempo	0	12834	143	18	70	7465	240
03/02/2021 10:56:30	Tempo	0	12834	142	18	70	7478	239
03/02/2021 10:56:00	Tempo	0	12834	143	18	70	7463	240
03/02/2021 10:55:30	Tempo	0	12834	142	18	70	7497	240
03/02/2021 10:55:00	Tempo	0	12834	143	18	70	7489	243
03/02/2021 10:54:30	Tempo	0	12834	143	18	70	7498	240
03/02/2021 10:54:00	Tempo	0	12834	142	18	70	7504	243
03/02/2021 10:53:30	Tempo	0	12834	142	18	70	7515	238
03/02/2021 10:53:00	Tempo	0	12834	143	18	69	7476	240
03/02/2021 10:52:30	Tempo	0	12834	142	18	69	7517	240
03/02/2021 10:52:00	Tempo	0	12834	141	19	70	7515	239
03/02/2021 10:51:30	Tempo	0	12834	142	19	70	7506	238
03/02/2021 10:51:00	Tempo	0	12834	142	19	70	7491	240
03/02/2021 10:50:30	Tempo	0	12834	142	19	70	7484	239
03/02/2021 10:50:00	Tempo	0	12834	142	19	69	7506	243
03/02/2021 10:49:30	Tempo	0	12834	142	19	69	7482	238
03/02/2021 10:49:00	Tempo	0	12834	142	19	69	7485	239
03/02/2021 10:48:30	Tempo	0	12834	141	19	69	7489	240
03/02/2021 10:48:00	Tempo	0	12834	142	19	69	7484	238
03/02/2021 10:47:30	Tempo	0	12834	142	19	69	7495	242
03/02/2021 10:47:00	Tempo	0	12834	142	19	69	7495	243
03/02/2021 10:46:30	Tempo	0	12834	142	19	69	7489	239
03/02/2021 10:46:00	Tempo	0	12834	141	19	68	7523	246
03/02/2021 10:45:30	Tempo	0	12834	142	19	68	7491	240
03/02/2021 10:45:00	Tempo	0	12834	141	19	68	7491	240

Figura 14. Histórico de dados.

4.5. Monitorização de pragas e doenças

A monitorização de inimigos da cultura estava prevista decorrer com a frequência das recolhas de amostras, no entanto, devido à limitação da circulação pela pandemia SARS-CoV 2 apenas foi possível realizar observações em duas datas: 03 de março e 25 de maio. O protocolo estipulava a observação de 15 plantas em cada estufa, verificando a presença de: Mosca branca (*Bemisia tabaci*); Afídeos; Fumagina; Traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*); Lagarta do tomate; Larva mineira; Mirídeos: *Nesidiocoris tenuis*; Podridões; Necroses e cloroses; Míldio; Abelhões; Frutos deformados.

4.6. Análise de fluxos – STAN 2.6

Inicialmente definiu-se os materiais a ter em conta no delineamento dos sistemas e recolheu-se os respetivos valores (**Quadro 7**). Dado que se considerou densidade igual a “1” ($\rho = 1$), os valores podem ser inseridos utilizando as unidades metros cúbicos ou toneladas, tendo-se, neste caso, utilizado toneladas.

Quadro 7. Materiais e respetivas quantidades entre ambas as estufas.

Material	Estufa A	Estufa B
Fertirrega	1300 ton./ha	1300 ton./ha
Caroço de azeitona	40 ± 10 ton.	Não aplicável
Fitofármacos	5,5 ton.	5,5 ton.
Fertilizantes	22 ton.	22 ton.
Produção	105 ton./ha	96 ton./ha

Os valores de fitofármacos e fertilizantes são contabilizados anualmente, pelo que se utilizou apenas metade do valor anual, para representar um ciclo. Por uma questão de praticabilidade e uniformização de unidades, aos fertilizantes líquidos atribuiu-se densidade igual a “1” ($\rho = 1$). Uma vez que a estufa B não apresenta climatização, o valor de caroço de azeitona, utilizado como combustível no processo de aquecimento, não é aplicável.

Em seguida, analisou-se o *layout* de ambas as estufas e respetivos equipamentos e considerou-se os processos, fluxos e *outputs* que seriam relevantes para o delineamento do sistema. Os esboços de ambos os sistemas foram realizados no *software PowerPoint* (Microsoft, Novo México, EUA), sendo a principal diferença entre ambos a ausência do processo de produção de calor na estufa B. Nas **Figuras 15 e 16** constam os esboços dos sistemas da estufa climatizada (A) e da estufa à temperatura ambiente (B), respetivamente.

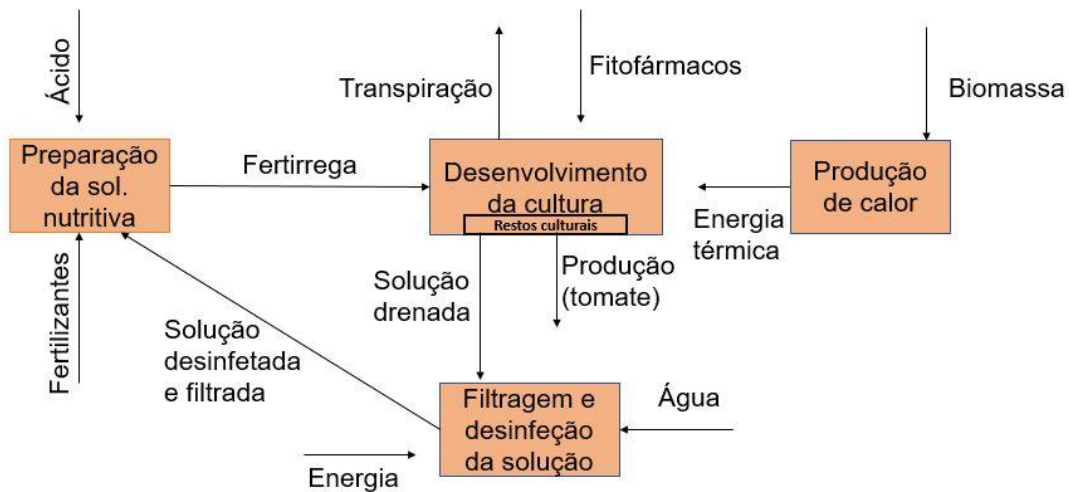


Figura 15. Esboço do sistema da estufa A.

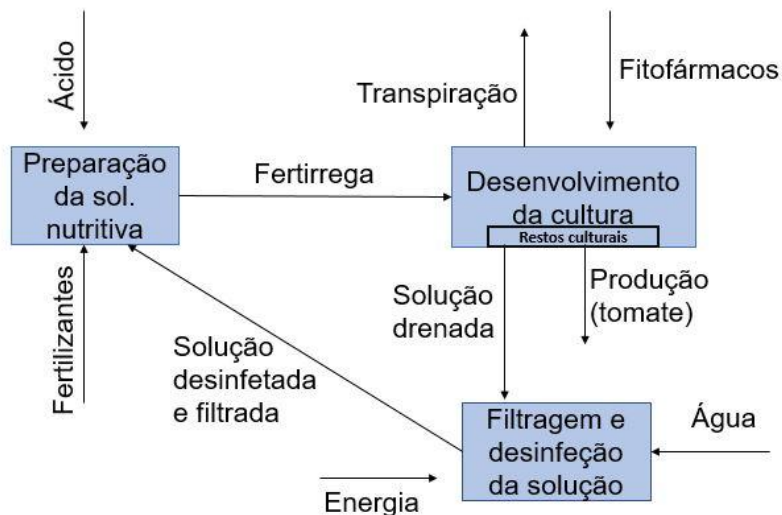


Figura 16. Esboço do sistema da estufa B.

Os fluxos de entrada “Ácido” e “Energia” não se encontram conectados aos respectivos processos pois não se apuraram os valores correspondentes. O fluxo de entrada “Fitofármacos” não se encontra conectado ao respetivo processo pois não sofre transformação, não sendo contabilizado no balanço. Ao manter os fluxos desconetados, garante-se que posteriormente ao realizar o balanço, respeitando a Lei da Conservação das Massas, os mesmos não interferem nos cálculos.

Uma vez realizadas as etapas anteriores, constatou-se que as percentagens de transpiração das plantas e de solução drenada permaneciam incógnitas, assim como o poder calorífico do caroço da azeitona, necessário para o cálculo da conversão da

biomassa em energia térmica. Segundo Miranda *et al.* (2004) e Stanghellini (2010) as plantas perdem cerca de 90% da água absorvida por transpiração.

No **Quadro 8** constam os valores correspondentes à solução drenada (%), segundo a bibliografia.

Quadro 8. Valores de solução drenada (%).

Autores	Miranda <i>et al.</i> (2004)	Rosa-Rodríguez <i>et al.</i> (2018)	Rosa-Rodríguez <i>et al.</i> (2020)
Solução drenada (%)	25% a 30%	27%	25% a 34%
Média geral (%)	≈ 30%		

No **Quadro 9** constam os valores de poder calorífico do caroço de azeitona, segundo a bibliografia, as respetivas médias dos intervalos e a média geral.

Quadro 9. Valores de poder calorífico do caroço de azeitona.

Autores	Centre d` Initiative pour la Production Propre (2000)	Miranda <i>et al.</i> (2008)	Strofyas (s.d.)
PC (kcal/kg)	4000	4400-4650	4532-4926
Média (kcal/kg)	4000	4525	4729
Média geral (kcal/kg)	4418		

PC – poder calorífico

Uma vez completas todas as etapas anteriores, considerando os valores da literatura, procedeu-se à realização dos seguintes cálculos com vista a obter os valores dos fluxos desconhecidos pertencentes ao balanço:

$$\text{Solução drenada (ton.)} = \text{Fertirrega} \times 30\%$$

$$\text{Transpiração (ton.)} = \text{Fertirrega} - \text{Solução drenada} - \text{Produção} = Y$$

$$\text{Transpiração (ton.)} = Y \times 90\%$$

$$\text{Água (ton.)} = \text{Fertirrega} - \text{Solução drenada} - \text{Fertilizantes}$$

$$\text{Energia térmica} = \text{Caroço de azeitona (kg)} \times 4418 \text{ (kcal/kg)} = \text{ET (kcal)}$$

$$\text{Energia térmica (kWh)} \approx \text{ET (kcal)} / 860 \text{ (fator conversão kcal para kWh)}$$

Os valores “solução desinfetada e filtrada” e “restos culturais” foram posteriormente calculados pelo *software* STAN, respeitando a Lei da Conservação das Massas, após delineamento do sistema no *software* e inserção dos respetivos valores calculados.

4.7. Avaliação estatística dos resultados

Recorreu-se ao *software Excel* para a organização geral dos dados - referentes aos dados das análises físico-químicas dos frutos - e obtenção das médias por linha e do total das linhas, para os respetivos parâmetros. O *software IBM Statistical Package for Social Sciences* - SPSS versão 23.0 (IBM, Nova Iorque, EUA), foi utilizado para obter a comparação das médias, através do teste t de *student* para amostras independentes.

Realizou-se a comparação dos diversos parâmetros entre a estufa climatizada (A) na data 02 de abril e a estufa à temperatura ambiente (B) na data 25 de maio, dado que a estufa A foi plantada mais cedo (ca. 1 mês) e desta forma as culturas se encontravam semelhantes no desenvolvimento. Comparou-se as médias através do teste t de *student* para amostras independentes, após verificação de variâncias através de ANOVA 1-fator. A significância estatística foi indicada para o nível de significância $\alpha = 0,05$.

5. Resultados e Discussão

Como foi referido anteriormente, devido à pandemia SARS-CoV-2, as recolhas foram condicionadas ocorrendo apenas duas vezes, nas datas 2 de abril e 25 de maio. As análises por sua vez foram realizadas mais tarde, tendo a recolha de 2 de abril sido analisada a 2 de junho e a recolha de 25 de maio no dia 26 de maio. Dado o desfasamento entre datas de plantação (ca. 1 mês), as culturas não se encontravam no mesmo patamar em termos de desenvolvimento, desta forma comparou-se a estufa A na primeira data com a estufa B na segunda data.

5.1. Análises físico-químicas dos frutos

5.1.1. Peso

No **Quadro 10** constam os valores médios de peso dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 10. Valores médios de peso (g) dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
Peso* (g)	361,15 ^a ± 59,43	99,84 ^b ± 18,23

*valores médios;

Na mesma linha, letras diferentes designam diferenças significativas para $p < 0,05$.

Quando comparados os pesos médios entre ambas as estufas, verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas. O peso médio total da estufa A (361,15 g) foi bastante superior (ca. 3,5x) ao da estufa B (99,84 g).

5.1.2. Calibre

No **Quadro 11** constam os valores médios de calibre dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 11. Valores médios de calibre (mm) dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
Calibre * (mm)	104,66 ^a ± 10,22	58,61 ^b ± 4,28

*valores médios

Na mesma linha, letras diferentes designam diferenças significativas para $p < 0,05$.

Constatou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores de calibre médios dos frutos das diferentes estufas, sendo os calibres da estufa A superiores ao da estufa B. Quando correspondidos com o sistema de classificação de calibres da FAO (2021), o calibre médio total da estufa A (104,66 mm) correspondeu ao código de calibre 10 "> 102 mm", ao passo que, o calibre médio total da estufa B (58,61 mm) correspondeu ao código de calibre 7 "> 57 mm ≤ 67 mm".

5.1.3. Sólidos solúveis totais (SST)

No **Quadro 12** constam os valores médios de sólidos solúveis totais (SST) dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 12. Valores médios de SST (°Brix) dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
SST* (°Brix)	4,19 ± 0,38	4,28 ± 0,20

*valores médios

Ao comparar os valores médios de SST entre ambas as estufas, não se verificou a existência de diferenças estatisticamente significativas. A literatura defende valores de SST entre os 4 e os 6 °Brix (Resende, 1995; Shi *et al.*, 1999; Fernandes, 2000; Gusmão *et al.*, 2000), condição que se verificou para ambos os valores médios totais.

5.1.4. Acidez Titulável Total (ATT)

No **Quadro 13** constam os valores médios de acidez titulável total (ATT) dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 13. Valores médios de ATT (%) dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
ATT* (%)	0,62 ± 0,03	0,58 ± 0,05

*valores médios

Os valores médios de ATT entre ambas as estufas não diferiram estatisticamente de forma significativa. De acordo com Cantwell (2004) e Sadler e Murphy (2010) os valores de ATT do tomate situam-se no intervalo dos 0,2% aos 0,6%. Outros autores (Kader *et al.*, 1978; Mencarelli & Saltveit, 1988) defendem que as leituras de ATT devem ser superiores a 0,32%. A segunda condição foi cumprida por ambas as estufas e, no caso da estufa A, o valor médio total (0,62%) excede ligeiramente o valor máximo estipulado no intervalo da primeira condição, ao passo que o valor médio total da estufa B (0,58%) se insere nesse mesmo intervalo.

5.1.5. Relação SST/ATT

No **Quadro 14** constam os valores médios da relação SST/ATT dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 14. Valores médios da relação SST/ATT dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
SST/ATT*	6,73 ± 0,30	7,46 ± 0,52

*valores médios

Não se verificou a existência de diferenças estatisticamente significativas entre ambas as estufas. Segundo Kader *et al.* (1978) e Mencarelli e Saltveit (1988), tomate de elevada qualidade possui uma relação SST/ATT superior a 10, condição que não se verificou em nenhuma das linhas. No entanto, Chitarra e Chitarra (1976) obtiveram valores entre 6,3 e 9,4 para sete cultivares em quatro estágios diferentes de maturação, verificando-se que todos os valores médios obtidos se contiveram neste intervalo, o que garante um sabor satisfatório do fruto.

5.1.6. pH

No **Quadro 15** constam os valores médios de pH dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 15. Valores médios de pH dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
pH*	4,21 ± 0,05	4,32 ± 0,09

* valores médios

Ao comparar os frutos de ambas as estufas, não se verificaram diferenças estatisticamente significativas. Sapers *et al.* (1978) assume valores de pH para o tomate de 3,9 a 4,9. Davies e Hobson (1981) defendem valores entre os 4 e 4,7. Saltveit (2005) atribui valores de pH entre 4 e 4,8. Raupp *et al.* (2009) afirmam que valores de pH inferiores a 4,5 facilitam na conservação dos frutos. Verificou-se que todos os valores médios obtidos se enquadram nos intervalos estipulados pelos autores mencionados e inclusive são inferiores a 4,5, assumindo-se um ótimo potencial de conservação.

5.1.7. Matéria seca dos frutos

No **Quadro 16** constam os valores médios de Matéria seca (MS) dos frutos para ambas as estufas.

Quadro 16. Valores médios de Matéria seca (%) dos frutos nas diferentes estufas.

	Estufa A	Estufa B
Matéria seca* (%)	5,40 ^a ± 0,09	4,60 ^b ± 0,29

*valores médios

Na mesma linha, letras diferentes designam diferenças significativas para $p < 0,05$.

Verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas, quando comparados os valores de ambas as estufas, sendo o valor médio total de MS da estufa A superior ao da estufa B. Davies e Hobson (1981) e Saltveit (2005) defendem que os valores de MS do tomate devem rondar os 5%, podendo oscilar até aos 7,5%. Os valores obtidos assemelharam-se aos requeridos pela bibliografia. O valor médio total da estufa A (5,40%) constou no intervalo estipulado, assemelhando-se a 5%. No caso da estufa B, o valor médio total foi inferior a 5%, no entanto situou-se próximo desse valor.

5.1.8. Textura

Realizaram-se apenas leituras da recolha de 25 de maio (estufa B), dado que a recolha de 02 de abril (estufa A) foi congelada e analisada posteriormente, devido às limitações impostas pela pandemia SARS-CoV 2, desta forma, a textura dos frutos não reproduziria dados representativos da realidade.

No **Quadro 17** constam os valores médios dos diferentes parâmetros de textura dos frutos referentes à estufa B.

Quadro 17. Valores médios dos parâmetros de textura dos frutos da estufa B.

Parâmetros *	Estufa B
Fracturabilidade (N)	0,25 ± 0,06
Dureza (N)	0,39 ± 0,14
Módulo Aparente (N/s)	1,21 ± 0,53
Deformação ao pico de carga (mm)	4,17 ± 2,24

*valores médios

Na impossibilidade de realizar a comparação entre as duas estufas, os valores foram comparados com a bibliografia. Saraiva *et al.* (2020) ao compararem duas culturas de tomate em sistemas de produção diferentes, obtiveram leituras médias de dureza de 0,53 N e 0,51 N, que quando confrontadas com o valor obtido (0,39 N) são relativamente superiores. Os mesmos autores obtiveram valor médio de módulo aparente de 0,20 N/s,

sendo inferior ao valor obtido (1,21 N/s) e, no caso da deformação ao pico de carga, obtiveram leitura média de 0,05 mm, sendo este valor consideravelmente inferior ao obtido (4,17 mm).

Gonçalves *et al.* (2015) ao analisarem quatro variedades diferentes, obtiveram leituras médias de dureza entre 0,58 N e 1,20 N, sendo estes valores relativamente superiores ao obtido (0,39 N).

Lucas (2014) ao analisar uma cultura de tomate em 10 acessos diferentes obteve leituras médias de fracturabilidade entre os 0,20 N e 2,35 N, estando o valor obtido (0,25 N) compreendido no início do intervalo. No caso da dureza o mesmo autor obteve leituras médias entre os 0,25 N e 3,20 N, estando o valor obtido (0,39 N) compreendido no início do intervalo, ao passo que no caso do módulo aparente obtiveram o intervalo de valores médios de 0,3 N/s a 1,38 N/s, estando o valor obtido (1,21 N/s) próximo do limite superior do intervalo. Ainda segundo o mesmo autor, os valores médios de módulo aparente situaram-se entre 1,0 mm e 3,5 mm, verificando-se que o valor obtido (4,17 mm) foi superior.

5.1.9. Cor

No **Quadro 18** constam os valores médios dos parâmetros de cor dos frutos, entre as diferentes estufas. Não foi possível realizar leituras em cinco frutos da estufa A, sendo assim a população em estudo de 15 frutos na estufa A e 20 frutos na estufa B.

Quadro 18. Valores médios dos parâmetros de cor dos frutos para ambas as estufas.

Parâmetros*	Estufa A	Estufa B
L*	39,24 ^a ± 1,81	36,76 ^b ± 2,25
a*	-6,78 ^a ± 2,64	19,11 ^b ± 4,95
b*	19,34 ^a ± 1,59	19,72 ^a ± 3,11
C*	20,75 ^a ± 1,70	27,69 ^b ± 4,73
H°	110,44 ^a ± 4,43	46,41 ^b ± 7,63

*valores médios

Na mesma linha, letras diferentes designam diferenças significativas para $p < 0,05$

A coordenada L* referente à variação da luminosidade entre cores escuras (L* = 0) e cores claras (L* = 100) (Farkas, 2000; CIE, 2004; Jakopič *et al.*, 2007; Žnidarčič *et al.*, 2008; López & Di Sarli, 2016) apresentou diferenças estatisticamente significativas, constatando-se que os frutos da estufa B apresentaram coloração mais escura. No tomate, o valor de L* tende a diminuir no desenvolvimento da cor (Farkas, 2000).

A coordenada a*, oscila entre a coloração verde para valores negativos (a* = -60) e vermelho para valores positivos (a* = 60), estando diretamente relacionada com o

amadurecimento dos frutos (Farkas, 2000; CIE, 2004; Jakopič *et al.*, 2007; Žnidarčič *et al.*, 2008; López & Di Sarli, 2016). Verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre ambas as estufas, tendo os frutos da estufa A correspondido a uma coloração mais esverdeada, ao passo que os frutos da estufa B apresentaram coloração vermelha.

A coordenada b^* oscila entre a coloração azul para valores negativos ($b^* = -60$) e amarela para valores positivos ($b^* = 60$), estando esta última relacionada com a presença de β -carotenos nos frutos (Farkas, 2000; CIE, 2004; Jakopič *et al.*, 2007; Žnidarčič *et al.*, 2008; López & Di Sarli, 2016). Não se verificou a existência de diferenças significativas para este parâmetro, tendo os frutos de ambas as estufas apresentado valores bastante semelhantes.

A coordenada C^* , correspondente ao *Chroma*, traduz uma cor mais intensa e saturada quanto mais altos forem os seus valores (Farkas, 2000; CIE, 2004; Pathare *et al.*, 2013; López & Di Sarli, 2016). Verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os valores médios de ambas as estufas, tendo os frutos da estufa B apresentado cor mais intensa e saturada.

A coordenada H° define a tonalidade média das amostras (Shewfelt *et al.*, 1988; CIE, 2004; McGuire, 1992 citado por Borguini, 2006; López & Di Sarli, 2016). Verificou-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os frutos de ambas as estufas. O primeiro quadrante que varia de 0° a 90° , oscilando entre o vermelho e o amarelo (Farkas, 2000; CIE, 2004; López & Di Sarli, 2016), respetivamente, contemplou o valor médio de H° da estufa B, que se apresentou como um valor intermédio do quadrante ($46,71^\circ$). O segundo quadrante, que varia de 90° a 180° , oscila entre o amarelo e o verde (Farkas, 2000; CIE, 2004; López & Di Sarli, 2016), respetivamente, tendo o valor médio de H° da estufa A se inserido neste quadrante ($110,44^\circ$), mais próximo da tonalidade amarela.

Rosa *et al.* (2011) analisaram quatro variedades de tomate diferentes, obtendo para os diferentes parâmetros de cor os valores médios: $L^* = 41,62$; $a^* = 24,44$; $b^* = 27,64$; $C^* = 36,90$; $H^\circ = 48,52$. Quando comparados com os valores em estudo, verificou-se que a estufa B se assemelhou mais aos valores obtidos por Rosa *et al.* (2011), tendo sido relativamente inferiores em geral. No caso da estufa A, à exceção dos parâmetros a^* e H° , que foram consideravelmente inferiores e superiores, respetivamente, os restantes parâmetros foram semelhantes aos apresentados por Rosa *et al.*, (2011).

Cantwell (2000) citado por Saltveit (2005) atribuiu os valores das diferentes coordenadas de cor, correspondendo-os aos seis estados de maturação do tomate por si definidos. O estado de maturação 1 corresponde a verde maduro, o estado de maturação 2 a verde rosado, o estado de maturação 4 a róseo, o estado de maturação 5 a vermelho-claro, o estado de maturação 6 a vermelho maduro e o estado de maturação 6+ a vermelho muito maduro.

Ao comparar os valores da estufa A com os resultados verificados por Cantwell (2000) citado por Saltveit (2005):

L* obtido (39,24) assemelhou-se ao estado 6+ (39,6);

a* obtido (-6,78) assemelhou-se ao estado 2 (-3,5);

b* obtido (19,34) assemelhou-se ao estado 6+ (20,7);

C* obtido (20,75) não se assemelhou com nenhum dos valores obtidos pelo autor (entre 34,4 e 37,9);

H^o obtido (110,44) assemelhou-se ao estado 1 (115,0).

Ao comparar os valores da estufa B com os resultados verificados por Cantwell (2000) citado por Saltveit (2005):

L* obtido (36,76) assemelhou-se ao estado 6+ (39,6);

a* obtido (19,11) assemelhou-se ao estado 4 (16,6);

b* obtido (19,72) assemelhou-se ao estado 6+ (20,7);

C* obtido (27,69) não se assemelhou com nenhum dos valores obtidos pelo autor (entre 34,4 e 37,9);

H^o obtido (46,41) assemelhou-se ao estado 5 (48,0).

Verificou-se que os valores da estufa B foram mais homogéneos e correspondendo aos índices de maturação mais elevados, ao passo que a estufa A apresentou valores mais heterogéneos, apresentando resultados para L*, b* e C* correspondentes a frutos muito maduros, e a* e H^o correspondentes a frutos menos maduros (róseos e vermelho-claros).

5.1.10. Teor de licopeno

Não foi possível a obtenção dos valores referentes ao teor de licopeno, devido ao condicionamento pela pandemia SARS-CoV 2.

5.1.11. Avaliação global dos parâmetros físico-químicos dos frutos

Os parâmetros peso, calibre, matéria seca e cor apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$).

Os frutos da estufa climatizada (A) apresentaram pesos e calibres consideravelmente superiores. A relação SST/ATT foi superior nos frutos da estufa à temperatura ambiente (B), ainda que não difiram significativamente. Os valores de pH foram semelhantes para ambas as estufas, ao passo que os valores de matéria seca foram significativamente superiores na estufa climatizada (A). Apenas se obtiveram valores de textura para a estufa à temperatura ambiente (B), tendo se registado valores baixos – em especial, na dureza e fracturabilidade – que denotam alguma suscetibilidade ao dano físico. No que concerne à cor, as coordenadas L^* , a^* , C^* e H^0 diferiram significativamente, no entanto, a coordenada b^* manifestou-se semelhante, para ambas as estufas. Verificou-se que os frutos da estufa à temperatura ambiente (B) manifestavam valores mais homogêneos e corroborantes, face à literatura, correspondendo a frutos mais maduros, com tonalidade mais escura e vermelho mais intenso e saturado.

Em geral, as amostras apresentaram valores que correspondem a frutos de sabor satisfatório, com ótimo potencial de conservação e boa coloração. Ainda que não tenham manifestado valores considerados de excelência, considerou-se que seria importante a recolha de mais amostras para obter uma avaliação mais precisa e representativa.

5.2. Equipamento de monitorização

Este trabalho acompanhou uma fase embrionária de um projeto contínuo, coincidindo com a etapa de conceção e implementação do sistema de monitorização em tempo real numa cultura de tomate hidropónico em ambiente climatizado. Desta forma, a obtenção de resultados em termos numéricos não foi possível dada a complexidade dos desafios técnico-científicos e funcionais que surgem associadas ao pioneirismo. No entanto, esta etapa foi muito importante pois permitiu realizar as calibrações e melhorias necessárias para assegurar o desempenho e atual funcionamento do aparelho, retribuindo dados relevantes e fidedignos.

Num sistema de monitorização urge assegurar a precisão e calibração dos sensores e, foi precisamente este o desafio inicial. Apesar da compatibilidade entre a sonda de pH e a

placa principal, o equipamento não realizava as leituras na sua total resolução, desprezando 2 bits, i.e., a amplitude da escala entres os valores mínimos e máximos estava reduzida em dois intervalos. O problema residia no *firmware* desatualizado da sonda, tendo-se procedido à substituição da unidade por uma unidade atualizada. Sendo a incompatibilidade apenas do *software* interno, a sua utilização apenas condicionava a precisão dos dados.

A incompatibilidade seguinte prendia-se com o fato de as células de carga destinadas a suportar e pesar a parte aérea da planta estarem delineadas apenas com um ponto de suporte, correspondente à haste principal e, neste método de condução da cultura, cada planta apresentar três hastes principais. Ao juntar as três hastes num ponto singular, promover-se-ia o ensombramento por redução da distância entre hastes. Posto isto, procedeu-se à construção de uma estrutura piramidal que permite a distribuição e afastamento das hastes por cada um dos vértices, assegurando resultados fidedignos e correspondentes à realidade.

Por fim, após todos os aperfeiçoamentos e calibrações resultantes desta etapa, o sistema ficou funcional e passível de ser utilizado no ciclo de monitorização seguinte, tendo-se verificado também, ao longo de todo o ensaio, o correto funcionamento da interface gráfica (**Figura 13**), disponível para consulta em tempo real por qualquer dispositivo com *browser*.

A importância destes sistemas já era reconhecida por Martínez *et al.*, (2002) e por Baas e Sloopweg (2004). Na altura, existiam diversas limitações (algumas ainda transversais à atualidade), relacionadas com a eficácia de medição dos sensores, o custo dos equipamentos e o nível de exigência técnico-científico. Não só na implementação, mas também na análise de dados se faziam sentir as dificuldades, sendo difícil analisar e correlacionar os dados com a resposta das plantas (Martínez *et al.*, 2002; Baas & Sloopweg, 2004). Mais recentemente, os avanços tecnológicos, em especial ao nível de *cloud computing*, em conjugação com a bibliografia resultante de diversos estudos (e.g. Crisnapati *et al.*, 2017; Comachio & Bortolotti, 2020), permitem de alguma forma facilitar a implementação destes sistemas.

5.3. Monitorização de pragas e doenças

O acompanhamento das culturas em relação às pragas e doenças não foi muito exaustivo, dado que a sua realização teve como intuito justificar uma eventual quebra de produção devido a algum destes fatores.

O desenvolvimento de culturas em estufa hidropónica permite a manipulação das condições climáticas e nutricionais para valores ótimos ao desenvolvimento das culturas,

no entanto, as mesmas podem também favorecer o desenvolvimento de pragas e doenças. O maior crescimento vegetativo das plantas e maior densidade de plantação, são fatores que favorecem o desenvolvimento de condições microclimáticas na estufa, como: menor luminosidade, redução dos ventos e aumento da permanência de água livre na superfície foliar, que propiciam o desenvolvimento dos inimigos das culturas (Jarvis, 1993; Lindquist, 1998; Filgueira, 2000; Vida et al., 2001; Cañadas *et al.*, 2017)

A temperatura e humidade relativa são os principais fatores ambientais na proliferação de doenças. A manipulação destes fatores é passível de ser realizada com intuito de controlar os inimigos das culturas, no entanto estas variáveis são normalmente manipuladas de acordo com as necessidades das plantas, ainda que - por exemplo - ao ajustar a temperatura no processo de arrefecimento, ocorra um ajuste da humidade relativa simultaneamente, criando um ambiente supressivo ao nível da proliferação de doenças (Lindquist, 1998; Kruidhof & Elmer, 2020). A ventilação, natural ou forçada, pode ser usada como medida preventiva para as principais doenças do tomate de estufa e, caso possível, o recurso ao aquecimento reduz também o risco de condensação nas estruturas e nas plantas (Elad *et al.*, 1995; Cañadas *et al.*, 2017).

No caso dos insetos, a temperatura afeta as taxas de desenvolvimento e crescimento, bem como o tamanho dos adultos. Temperaturas mais baixas retardam as taxas de desenvolvimento e crescimento, porém os adultos apresentam maiores dimensões, o que lhes confere melhor aptidão para a reprodução (Butlin & Day, 1985; Bonato *et al.*, 2007; Colinet *et al.*, 2007). A manipulação da temperatura e humidade pode realizar-se com o intuito de favorecer a atividade das pragas (e.g. voo), tornando-as mais suscetíveis à luta química, aumentando assim a sua eficácia (Lindquist, 1998). No entanto, a humidade ainda que em alguns casos possa influenciar no controlo e aparecimento de pragas, apresenta um impacto consideravelmente inferior quando comparado ao que exerce nas doenças (El-Laithy, 1992; Weintraub *et al.*, 2006; Shipp *et al.*, 2011).

No **Quadro 19** constam os dados referentes à monitorização, fazendo-se corresponder o número de plantas afetadas às diferentes datas, pragas ou doenças e estufas.

Quadro 19. Dados referentes à monitorização de pragas entre ambas as estufas nas duas datas.

Praga/doença	Instar/Sintoma	03/3 A	03/3 B	25/5 A	25/5 B
Mosca branca (<i>Bemisia tabaci</i>)	Adulto	1	2	14	12
	Ovos	0	0	0	0
Afídeos		2	3	0	0
Fumagina		0	1	3	3
Traça-do-tomateiro (<i>Tuta absoluta</i>)	Larvas	1	1	2	0
	Adultos	0	0	3	5
	Galerias	8	15	15	15
Lagarta do tomate	Lagarta	0	1	0	0
	Frutos furados	0	0	2	2
	Folhas roídas	1	11	0	0
Larva mineira	Galerias	11	0	13	1
Mirídeos: <i>Nesidiocoris tenuis</i>		0	0	1	0
Podridões		4	2	3	0
Necroses e cloroses		8	8	15	14
Míldio		15	10	15	14
Abelhões		0	0	0	0
Deformações no fruto		12	12	5	0

A ou B: estufa A ou estufa B; 03/3: recolha de 03 de março; 25/5: recolha de 25 de maio.

Os inimigos da cultura mais presentes foram a Mosca branca (**Figura 17**), Traça-do-tomateiro (**Figura 18**), Necroses e cloroses (**Figura 19**) e o Míldio (**Figura 18**). No caso das pragas, como a Traça-do-tomateiro, Larva mineira (**Figura 19**) e Lagarta do tomate, predominaram os avistamentos da sintomatologia de ataque e não das formas vivas. Os adultos de *Nesidiocoris tenuis* quando presentes de forma baixa ou controlada, como foi o caso, apresentam efeitos benéficos à cultura devido ao seu regime alimentar zoofitófago, controlando predominantemente a Mosca branca, mas também a Traça-do-tomateiro, Afídeos e Tripes (Perdikis & Lykouressis, 2002; Urbaneja *et al.*, 2005; van Lenteren, 2012). Contabilizou-se um número elevado de plantas com frutos deformados (**Figura 20**) na primeira data, para ambas as estufas, ao passo que, na segunda data apenas na estufa A se avistaram frutos deformados em um terço das plantas monitorizadas. Não se avistaram abelhões em todas as datas.



Figura 17. Adulto de Mosca branca (Projeto TomatInov).



Figura 18. Galeria de *Tuta absoluta* (Projeto TomatInov).



Figura 19. Clorose associada a deficiência nutricional (Projeto TomatInov).



Figura 20. Folhas afetadas com Míldio (Projeto TomatInov).



Figura 21. Galeria de larva mineira (Projeto TomatInov).



Figura 22. Fruto deformado (Projeto TomatInov).

Não se registaram perdas de produção abruptas ou anormais, associadas aos inimigos da cultura. A quantificação da presença não revela a densidade populacional nem a intensidade de ataque, nesse sentido, é possível que a presença de determinado inimigo se registre em todas as plantas, não significando o comprometimento da produção e, concomitantemente, da rentabilidade económica.

A estufa A, por ser climatizada, possibilita a gestão das variáveis, ainda que seja uma prática pouco comum o seu ajuste para propiciar um controlo dos inimigos da cultura de forma mais eficaz, ao ajustar às necessidades das plantas, o mesmo pode acontecer indiretamente. Assim, a estufa climatizada (A) não enfrenta diferenças de temperatura tão elevadas, o que poderia contribuir para um crescimento mais acelerado das pragas. Em contrapartida, a climatização permite reduzir a condensação ao nível das estruturas e das plantas, criando um ambiente menos prolífero para as doenças. No entanto, em geral, verificou-se uma realidade semelhante entre ambas as estufas, considerando-se que teria sido importante – uma vez que não foi possível – realizar mais monitorizações, para se poder inferir de forma mais consistente os resultados, tendo em conta que poderia esperar-se maior heterogeneidade, dada a diferença no ambiente de desenvolvimento das plantas.

5.4. Análise de fluxos - STAN 2.6

Na **Figura 23** consta o sistema de análise de fluxos pertencente à estufa A com as quantidades dos respetivos fluxos. À exceção do fluxo de saída “Calor”, que se apresenta em kilowatt hora, todas as restantes quantidades se apresentam em toneladas. Como referido anteriormente, não foi possível obter os valores referentes aos fluxos de entrada “Energia” (F13) e “Ácido” (F14), para ambas as estufas, pelo que não se conectaram ao balanço de massas. Para ambas as estufas, foram consumidas 22 toneladas de fertilizantes, 5,5 toneladas de fitofármacos e 1 300 toneladas de fertirrigação. As letras “I” e “E” agregadas aos fluxos, designam fluxo de entrada e de saída, respetivamente.

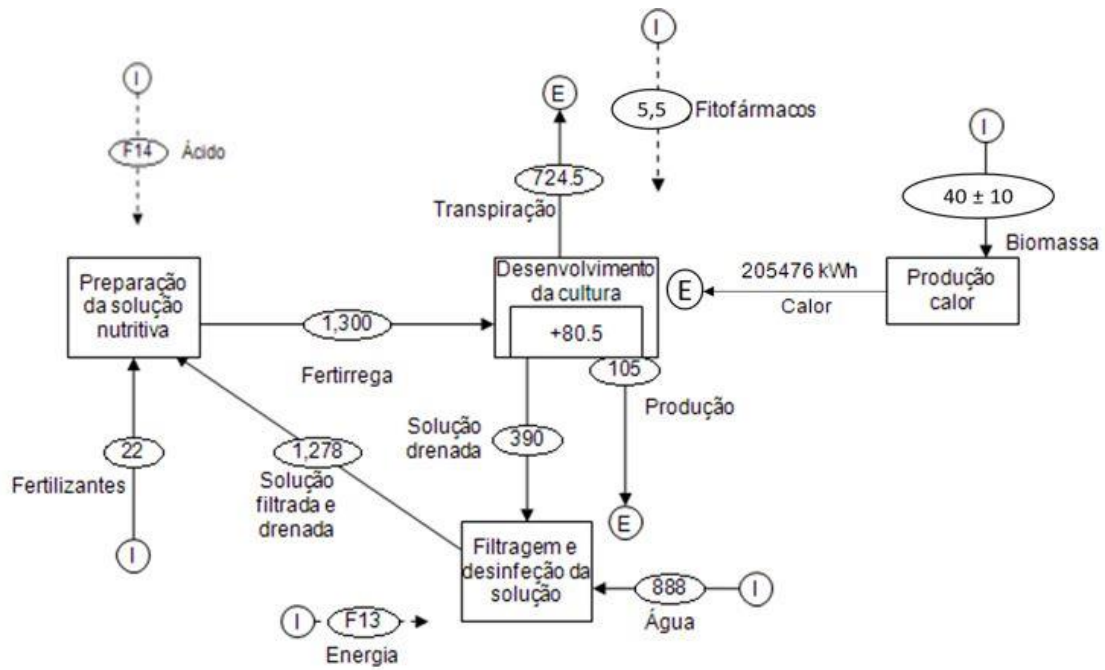


Figura 23. Sistema de análise de fluxos da estufa A elaborado em STAN.

Na **Figura 24** consta o sistema de análise de fluxos pertencente à estufa B com as quantidades dos respectivos fluxos.

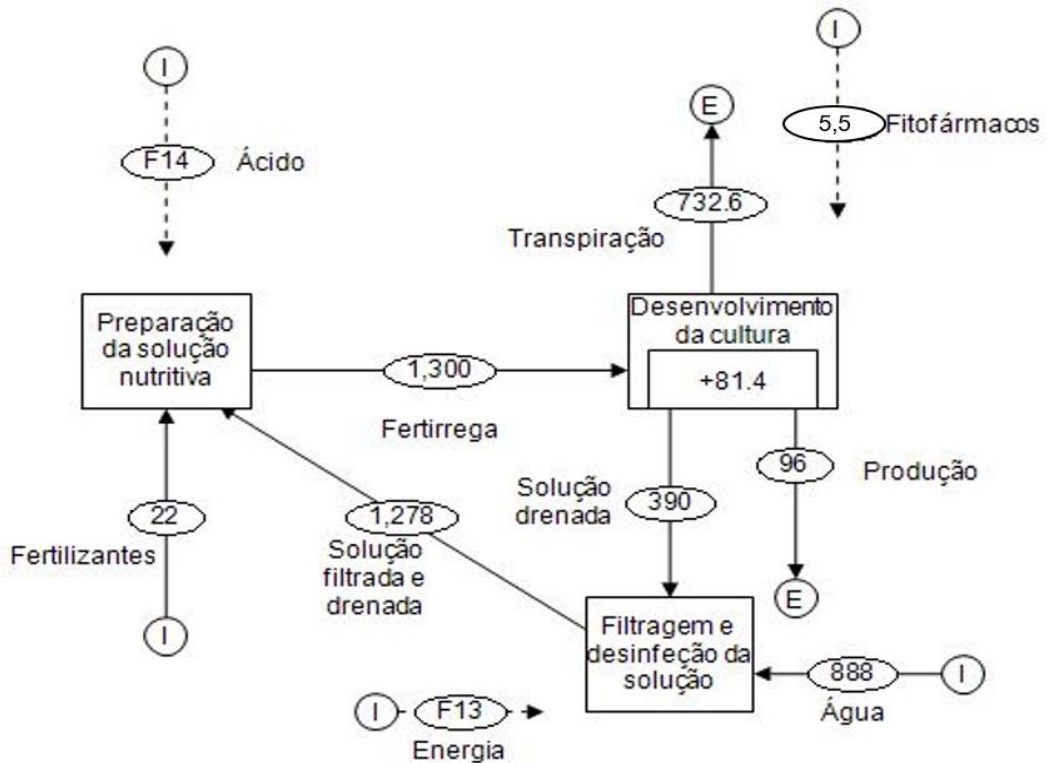


Figura 24. Sistema de análise de fluxos da estufa B elaborado em STAN.

Ao comparar ambos os sistemas, verificaram-se diferenças nos fluxos: produção, transpiração e restos culturais, que se encontram sistematizados no **Quadro 20**.

Quadro 20. Valores dos parâmetros calculados para ambas as estufas

Parâmetros	Estufa A	Estufa B
Solução drenada (ton.)	390	390
Transpiração (ton.)	724,5	732,6
Restos culturais (ton.)	80,5	81,4
Produção (ton./ha)	105	96
Solução filtrada e desinfetada (ton.)	1 278	1 278
Água (ton.)	888	888
Energia Calorífica (kWh)	205 476	-----

Os valores de solução drenada foram iguais, uma vez que a quantidade de fertirrigação fornecida (1 300 ton.) foi igual para ambas as estufas, assim como a percentagem de solução drenada utilizada nos cálculos (30%). Os valores correspondentes à solução filtrada e desinfetada (1 278 ton.) e água (888 ton.), foram iguais para ambas as estufas pois são calculados com base na fertirrigação (1 300 ton.), quantidade de fertilizantes (22 ton.) e solução drenada (390 ton.), que foram iguais para ambas as estufas.

Os valores de produção foram fornecidos, tendo-se verificado que a estufa A (105 ton.) apresentou produção superior à estufa B (96 ton.), razão pela qual os parâmetros transpiração e restos culturais diferiram, i.e., ao haver diferenças de produção, a cultura que apresentou maior produção mobilizou mais água e nutrientes para o desenvolvimento dos frutos, registando perdas inferiores por transpiração e no crescimento vegetativo (restos culturais). Como se verificou, a estufa A apresentou perdas por transpiração de 724,5 ton., inferiores ao valor perdido pela estufa B, que correspondeu a 732,6 ton. O mesmo se verificou relativamente aos restos culturais, tendo a estufa A apresentado 80,5 ton., ao passo que a estufa B apresentou um valor superior de 81,4 ton.

Constatou-se que as 40 toneladas de biomassa produziram o equivalente a 205 476 kWh de energia térmica.

Face ao supra exposto, o equipamento de climatização, a par de ser um investimento considerável ao nível da instalação e, posteriormente estando sujeito às variações de preço da biomassa, resultantes do binómio procura-oferta, apresentou-se como benéfico uma vez que ao avaliar e comparar a qualidade dos frutos de ambas as estufas, verificaram-se algumas diferenças estatisticamente significativas, em especial ao nível do calibre e do peso, em que a estufa climatizada foi superior.

Da mesma forma, ao analisar os *inputs* e *outputs* das culturas, verificou-se que a climatização permitiu à estufa A uma produção superior (mais nove toneladas), resultante da redução da transpiração das plantas, que traduz um melhor aproveitamento da água e nutrientes por parte da cultura.

Assim, ao aliar o cultivo protegido em substrato com a climatização, foi possível ajustar o ambiente de crescimento das plantas e proteger as culturas das condições variáveis exteriores, ultrapassando as limitações edafoclimáticas e garantindo uma produção superior.

6. Considerações finais

Em relação às análises físico-químicas, quando comparados os frutos de ambas as estufas verificaram-se diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05$) para os parâmetros: peso, calibre, matéria seca e cor.

Os frutos da estufa climatizada (A) apresentaram valores consideravelmente superiores em relação ao peso (ca. 3.5x superior) e calibre (ca. 2x superior) face à estufa à temperatura ambiente (B).

A relação SST/ATT, apesar de não apresentar diferenças estatisticamente significativas, foi superior nos frutos da estufa à temperatura ambiente (B). Em geral, os valores obtidos garantem aos frutos um sabor satisfatório.

Os valores de pH obtidos garantem aos frutos um ótimo potencial de conservação, tendo sido semelhantes entre ambas as estufas e coincidindo com a bibliografia, ao passo que os valores de matéria seca diferiram significativamente, tendo a estufa climatizada (A) apresentado valores superiores.

Na impossibilidade de comparar os diferentes parâmetros de textura entre as duas estufas, verificou-se que em geral os valores médios obtidos para a estufa à temperatura ambiente (B) foram baixos - em especial a dureza e fracturabilidade - à exceção do parâmetro deformação ao pico de carga, denotando assim que os frutos apresentam alguma suscetibilidade ao dano físico.

Quando comparados os diferentes parâmetros de cor entre ambas as estufas, as coordenadas L^* , a^* , C^* e H^0 apresentaram diferenças estatisticamente significativas, ao passo que na coordenada b^* o mesmo não se verificou, tendo-se obtido valores semelhantes. Os frutos da estufa à temperatura ambiente (B) apresentaram maior homogeneidade entre os diversos parâmetros de cor, que quando correspondidos com a literatura se assemelharam a valores correspondentes a frutos mais maduros, de tonalidade mais escura e cor vermelha mais intensa e saturada.

Neste trabalho propôs-se o acompanhamento do desenvolvimento de um produto de características organolépticas de excelência, porém ao analisar os resultados, de uma maneira geral, o mesmo não se pode afirmar. No entanto, considere-se que este trabalho acompanhou apenas parte de um projeto de longa duração, posto isto, os resultados obtidos foram condicionados pela pandemia SARS-CoV 2 que condicionou a recolha de amostras e análise de alguns parâmetros, sujeitando a que os resultados possam não ser representativos uma vez que apenas se realizou uma recolha para ambas as estufas.

O equipamento de monitorização contínua e transmissão de dados em tempo real, pode ser encarado como uma mais-valia na gestão dos inputs da cultura e melhoria da eficiência do processo produtivo, assegurando a competitividade perante as ameaças do mercado. Ainda que a sua viabilidade esteja dependente da rentabilidade das culturas, por se apresentar como uma alternativa exigente a nível técnico-científico e económico, a cultura do tomate apresenta como fator a favor a sua grande importância a nível global, bem como a nível nacional - em especial na região do Oeste – que aliado à sua boa produtividade, faz cumprir as premissas que permitem justificar o investimento no incremento das técnicas de produção. O acompanhamento da conceção e implementação do equipamento, permitiu ver definidas as variáveis agronómicas para a monitorização em tempo real, apurar os sensores adequados e adaptá-los face às incompatibilidades detetadas, bem como, compreender o nível de complexidade aquando integração dos componentes e interfaces no equipamento. “Futuramente, será essencial proceder à validação dos resultados e evoluir para uma análise que permita relacionar os dados e extrair informação relevante para os produtores que utilizam sistemas de hidroponia. Em particular, a fundamentação da variação de massa da planta em função dos elementos consumidos em correlação com os restantes dados ambientais recolhidos (Jesus *et al.*, 2020)”

A monitorização de pragas e doenças revelou essencialmente a sintomatologia de ataque e, ainda que se tenha registado a presença de algumas pragas e doenças, não ocorreu o comprometimento da produção, perdas abruptas ou anormais com capacidade de ameaçar a rentabilidade económica.

Ao realizar o balanço de massas com recurso ao *software* STAN 2.6, respeitando a Lei da Conservação das Massas, verificou-se que a estufa climatizada (A) apresentou maior eficiência na utilização dos recursos água e fertilizantes, uma vez que para a mesma quantidade de fertirrigação fornecida apresentou produção superior - mais 9 toneladas - que a estufa B, tendo registado menos perdas por transpiração e acumulação no crescimento vegetativo (restos culturais).

A climatização, apresentou assim, um efeito benéfico na produtividade da cultura considerando o incremento verificado, além de promover o desenvolvimento de frutos de calibre e peso superiores, com sabor satisfatório e potencial de conservação excelente.

7. Referências bibliográficas

- Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. (2002). Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dust for use as a peat substitute for containerized ornamental plants. *Bioresource Technology*, 241–245.
- Adams, P. (1994). *Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hydroponic systems*. *Acta Horticulturae*, 245–257.
- Alarcón, A. (2000). *Tecnologia para cultivos de alto rendimiento*. (1ª ed.). Murcia: Novedades Agrícolas, 480 pp.
- Alexander, L., Grierson, D. (2002). *Ethylene Biosynthesis and Action in Tomato: A Model for Climacteric Fruit Ripening*. *Journal of Experimental Botany*, 2039–2055.
- Almeida, D. P. (2006). *Manual das Culturas Hortícolas – Volume II*. (2ª ed.). Editorial Presença, 400 pp.
- Almeida, D. P., Reis, M. (2017). *Engenharia Hortícola*. Porto: Publindústria – Agrobook, 237 pp.
- Al-Shaibani, A. M. H., Greig, J. K (1979). *Effects of stage of maturity, storage and cultivar on some quality attributes of tomatoes*. Alexandria: *Journal of the American Society of Horticultural Science*, vol. 104, n.º 6, 880–882.
- Anderlini, R. (1982). *A cultura do tomate*. Biblioteca agrícola litexa, 166 pp.
- Baas, R., Slootweg, C. (2004). *On-line acquisition of plant related and environmental parameters (plant monitoring) in gerbera: determining plant responses*. *Acta Horticulturae*, 139–146.
- Bailey, B. J. (1991). Climate modelling and control in greenhouses *In* Matthews, J. (eds) *Progress in Agricultural and Engineering*. CABI.
- Bailey, B. J., Chalabi, Z. S. (1994). *Improving the cost effectiveness of greenhouse climate control*. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 10, 203–214.
- Baron, D., Amaro, A. C. E., Campos, F. G., Boaro, C. S. F., Ferreira, G. (2018). Chapter 24 – Plant Physiological Responses to Nutrient Solution: An Overview *In* Ahmad, P., Ahanger, M. A., Singh, V., Tripathi, D., Alam, P., Alyemeni, M. N. (Eds), *Plant Metabolites and Regulation Under Environmental Stress* (415–425). Academic Press.
- Bartok Jr., J., Grubinger, V. (2019). *Fuels and Alternate Heat Sources for Commercial Greenhouses*. Farm Energy.

- Barrett, D. M., Garcia, E., Wayne, J. E (1998). *Textural modification of processing tomatoes*. Critical Reviews in Food Science Nutrition, 38(3), 173–258.
- Becquer, A., Trap, J., Irshad, U., Ali, M. A., Claude, P. (2014). *From soil to plant, the journey of P through trophic relationships and ectomycorrhizal association*. Frontiers in Plant Science.
- Bleinroth, E. W., Sigrist, J. M. M., Ardito, E. F. G., Castro, J. V., Spagnol, W. A., Neves filho, L. C. (1992). *Tecnologia de pós-colheita de frutas tropicais*. (2ª ed.). Campinas: ITAL- Rede de Núcleos de Informação Tecnológica, 203 pp.
- Boelens, J., Olsthoorn, X. (1998). Preparing a material flows account (114-121) In Vellinga, P., Berkhout, F., Gupta, J. (Eds.) *Managing a Material World: Perspectives in Industrial Ecology*. Kluwer Academic Publishers, 248 pp.
- Bonato, O., Lurette, A., Vidal, C., Fargues, J. (2007). *Modelling temperature-dependent bionomics of Bemisia tabaci (Q-biotype)*. Physiological Entomology, vol. 32, 50–55.
- Borguini, R.G. (2006). *Avaliação do potencial antioxidante e de algumas características físico-químicas do tomate (Lycopersicon esculentum) orgânico em comparação ao convencional*. Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Saúde Pública. Universidade de São Paulo – Faculdade de Saúde Pública, 186 pp.
- Bordean, D. M., Gergen, I., Moldovan, C. (2009). *Lycopene content of tomatoes and tomato products*. Journal of Agroalimentary Processes and Technologies, 540–542.
- Brasesco, F., Asgedom, D., Casari, G. (2019). *Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato in the Agro-Commodities Procurement Zone of the pilot Integrated Agro-Industrial Park in Central-Eastern Oromia, Ethiopia*. Addis Ababa.
- Brunner, P. H., Rechberger, H. (2016). *Handbook of Material Flow Analysis for Environmental, Resource, and Waste Engineers*. (2ª ed) CRC Press, 435 pp.
- Burés, S. (1997). *Substratos*. Madrid: Ediciones Agrotécnicas S. L., 342 pp.
- Butlin, R., Day, T. (1985). *Adult size, longevity and fecundity in the seaweed fly, Coelopa frigida*. Heredity, vol. 54, 107–110.
- Cañadas, J., Sánchez-Molina, J. A., Rodríguez, F., María del Águila, I. *Improving automatic climate control with decision support techniques to minimize disease effects in greenhouse tomatoes*. Information Processing in Agriculture, vol. 4, n.º 1, 50–63.
- Canovas, F. C. M. (1995). *Manejo del cultivo sin suelo. El cultivo del tomate*. (2ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.

- Cantwell, M. (2004). *Fresh Market Tomato. Statewide Uniform Variety Trial Report Field and Postharvest Evaluations*. California: University of California.
- Caron, V. C., Tessmer, M. A., Mello, S. C., Jacomino, A. P. (2013). *Quality of mini tomatoes harvested at two maturity stages and kept chilled in three packages*. *Horticultura Brasileira*, vol. 32, n.º 2, 279–286.
- Carpena, O., Rodríguez, A. M., Sarro M. J (1987). Evaluación de los contenidos minerales de raíz, tallo y hoja de plantas de tomate como índices de nutrición. *Anales de Edafología y Agrobiología*, vol. 46, 117–127.
- Carrillo-López, A., Yahia, E. M. (2014). *Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APCI (+) -mass Spectrometry*. *Journal of Food Science and Technology*, 51(10), 2720–2726.
- Carruthers, S. L., Patrick, J. (1993). *Hydroponic Gardening*. Cornell University, 64 pp.
- Carvalho, W., Fonseca, M. E. de N., Silva, H. R., Boiteux, L. S., Giordano, L. de B. (2005). Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. *Horticultura Brasileira*, 819–825.
- Casquet, E. (1998). *Principios de Medio Ambiente Agrario*. Zaragoza: Acribia, 368 pp.
- Carrijo, O. A., Liz, R. S., Makishima, N. (2002). *Fiber of green coconut shell as an agricultural substrate*. *Brasília: Horticultura brasileira*, vol. 20, 533–535.
- Cecchi, H. M. (1999). *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos*. Campinas: Editora da Unicamp, 213 pp.
- Cencic, O. (2016). *Nonlinear data reconciliation in material flow analysis with software STAN*. *Sustainable Environment Research*, vol. 26, n.º 6, 291–298.
- Cencic, O., Rechberger, H. (2008). *Material flow analysis with software STAN*. *Journal of Environmental Engineering and Management*, vol.18, n.º 1, 5 pp.
- Centre d'Initiative pour la Production Propre (2000). *Prévention de la pollution dans la production d'huile d'olive*. Barcelona: Ministère de l'Environnement, Gouvernement Autonome de la Catalogne..
- Cermeño, S. Z. (1977). *Cultivo de Plantas Hortícolas em Estufa*. Lisboa: Litexa Editora, 368 pp.
- Cermeño, S. Z. (1988). *Prontuário do Horticultor*. Lisboa: Litexa Editora, 408 pp.
- Chau, J. (2008). *Evaluation of Wood Biomass Utilization for the Greenhouse Industry in British Columbia*. The University of British Columbia.

- Chitarra, A. B., Chitarra, M. I. F. (1976). *Composição química do tomate (Lycopersicon esculentum Mill) em diferentes estádios de maturação*. Campinas: Revista de Olericultura, vol. 16, 194–198.
- CIE - Commission Internationale de L'Eclairage (2004). *Colorimetry*. (3ª ed.). Vienna: Central Bureau of the CIE, 82 pp.
- Comachio, K. O., Bortolotti, S. L. V. (2020). *Integração da IOT e arduino para avaliação da qualidade do leite: uma revisão sistemática*, vol. 6, n.º 1, Brazilian Journal of Development.
- Combrink, N. (2019). *Nutrient Solution Management*. Department of Agronomy Stellenbosch University.
- Colinet, H., Boivin, G., Hance, T. (2007). *Manipulation of parasitoid size using the temperature-size rule: fitness consequences*. *Oecologia*, vol. 152, 425–433.
- Cooper, A. J. (1979). *The ABC of NFT. Nutrient Film Technique*, London: Grower Books, 171 pp.
- Coronel, J., Castillo, P. (2009). *Alternativas de mejora en el manejo postcosecha de tomate riñón cultivado en la provincia de Santa Elena*. Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas.
- Crisnapati, P. N., Wardana, N. K., Aryanto, K. A. A, Hermawan, A. (2017). *Hommons: Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology*. Denpasar: 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM), 1–6.
- Cuce, E., Harjunowibowo, D., Cuce, P. M. (2016). *Renewable and sustainable energy saving strategies for greenhouse systems: A comprehensive review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 64, 34–59.
- Dam, B. V., Goffau, M., Hilmi, M., Jeude, J., Naika, S. (2006). *A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização*. Wageningen: Fundação Agromisa e CTA, 104 pp.
- Daniels, P. (2002). *Approaches for quantifying the metabolism of physical economies – Part II review of individual approaches*. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 6, n.º 1, 65–88.
- Daniels, P., Moore, S. (2001). *Approaches for quantifying the metabolism of physical economies – Part I methodological overview*. *Journal of Industrial Ecology*, vol. 5, n.º 4, 69–93.

- Davies, J. N.; Hobson, G. E. (1981). *The constituents of tomato fruit: the influence of environment, nutrition, and genotype*. Boca Ronton: Critical Review in Food Science Nutrition, vol. 15, n.º 3, 205–280.
- Davis, A. R., Fish, W. W., Perkins-Veazie, P. (2002). *A rapid spectrophotometric method for analyzing lycopene content in tomato and tomato products*. Postharvest Biology and Technology, vol. 28, 425–430.
- D'Souza, M. C., Singha, S., Ingle, M. (1992). *Lycopene content of tomato fruit can be estimated from chromaticity values*. HortScience, vol. 27, 465–466.
- Elad, Y., Lodovica-Gullino, M., Shtienberg, D. Aloj, C. (1995). *Managing Botrytis cinerea on tomatoes in greenhouses in the Mediterranean*. Crop Protection, vol. 14, n.º 2, 105–109.
- El-Laithy, A. Y. M. (1992). *Some aspects on the use of the predaceous mite Phytoseiulus persimilis Athis-Henriot for biological control of the two-spotted spider mite Tetranychus urticae Koch in greenhouses in Egypt*. Journal of Plant Diseases and Protection, vol. 9, 93–100.
- Evans, M. R, Konduru, S., Stamps, R. H. (1996). *Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust*. HortScience, vol. 31, 965–967.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021). *Anteproyecto de norma del codex para el tomate (en el trámite 5)*. Acedido em jan. 15, 2021 disponível em: http://www.fao.org/3/j0695s/j0695s04.htm#P61_4764.
- Farias, J. R. (1991). *Respostas do feijão-vagem a disponibilidade hídrica associada a alterações micro meteorológicas em estufa plástica*. 177 pp.
- Farkas, C. (2000). 9º Encontro Brasileiro sobre Tecnologia Instrumental em Colorimetria e Aparência.
- Fernandes, A. A. (2000). *Fontes de nutrientes influenciando o crescimento, a produtividade e a qualidade de tomate, pepino e alface, cultivados em hidroponia*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 75 pp.
- Ferreira, S. M. R., Freitas, R. J. S., Bassler, T. C. (2003). *Terminologia descritiva para análise sensorial de tomate de mesa*. Visão Acadêmica, vol. 4, n.º 1.
- Ferreira, R. M. A., Lopes, W. A. R., Aroucha, E. M. M., Mano, N. C. S., Sousa, C. M. G. (2012). *Caracterização física e química de híbridos de tomate em diferentes estádios*

de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. *Revista Ceres*, vol. 59, n.º 4, 506–511.

- Filgueira, F. A. R. (2000). *Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. Viçosa: UFV, 135-136.
- Fontes, P. C. R., Silva, D. J. H. (2002). *Produção de tomate de mesa*. Viçosa: Aprenda fácil, 197pp.
- Fornes, F., Belda, R. M., Abad, M., Noguera, P., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V. (2003). *The microstructure of coconut coir dusts for use as alternatives to peat in soilless growing media*. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 1171–1179.
- Freire, E. (2016). *Produzir mais com energia limpa*. Acedido em dez. 13, 2019 disponível em: <http://www.vidarural.pt/insights/melhor-producao-energia-eficiente-limpa/>.
- Garcia, M. L., Medrano, E., Sanchez-Guerrero, M. C., Lorenzo, P. (2011). *Climatic effects of two cooling systems in greenhouses in the Mediterranean area: External mobile shading and fog system*. *Biosystems Eng.*, 108(2), 133–143.
- Garelli, L. (1994). *Análisis de los Alimentos. Trabajo de Ascenso*. Venezuela: Universidad de Oriente.
- Gavilán, M. U. (2004). *Tratado de Cultivo Sin Suelo*. (3ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa, 914 pp.
- Gavilán, M. U. (2015). *Manual práctico del cultivo sin suelo e hidroponía*. Madrid: Mundi-Prensa, 278 pp.
- Gentilcore, D. (2010). *Pomodoro! A history of the tomato in Italy*. Columbia University Press, 272pp.
- Goddek, S., Joyce, A, Kotzen, B., Burnell, G.M. (2019). *Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future*. 619 pp.
- Gómez, P. A., López Camelo, A. F. (2002). *Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas*. Brasília: Horticultura Brasileira, vol. 20, 38–43.
- Gómez, P. A., López Camelo, A. F. (2004). *Comparison of color indexes for tomato ripening*. Brasília: Horticultura brasileira, vol. 22, n.º 3.
- Gonçalves, S., Lima, M. G., Lucas, H. (2015). *Controlo de qualidade pós-colheita de quatro variedades de tomate redondo para consumo em fresco, produzido em substrato de fibra de coco*. Escola Superior Agrária de Santarém – Instituto Politécnico de Santarém, 61–78.

- Gusmão, S. A. L., Pádua, J. G., Gusmão, M. T. A., Braz, L. T. (2000). Efeito da cobertura do solo com filme de polietileno e da densidade de plantio, na produção de tomate tipo “cereja”. In *Congresso Brasileiro de Olericultura, 40; Congresso Ibero-americano sobre Utilização de Plástico na Agricultura, 2; Simpósio Latino-americano de Produção de Plantas Medicinais, Aromáticas e Condimentares, 1*. Brasília: SOB/FCAV-UNESP, vol. 18, 571–572.
- Hart, D. J., Scott, K. J. (1995). *Development and evaluation of an HPLC method for the analysis of carotenoids in foods, and the measurement of the carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK*. Food Chemistry, 101–111.
- Hoagland, D. R., Arnon, D. I. (1938). *The water-culture method for growing plants without soil*. Berkeley: California Agricultural Experimental Station.
- Hobson, G. E. (1982). *Controlling the ripening of tomato fruit*. Foston: Span, vol. 25, 21–23.
- Huang, T., Hongqiang, L., Zhang, G., Xu, F. (2020). *Experimental Study on Biomass Heating System in the Greenhouse: A Case Study in Xiangtan, China*. MDPI.
- Inden, H., Torres, A. (2004). *Comparison of Four Substrates on the Growth and Quality of Tomatoes*. Acta Horticulturae 644, 205–210.
- Instituto Nacional de Estatística (2019). *Estatísticas agrícolas 2018*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- Jakopič, J., Veberič, R., Štampar, F. (2007). The effect of reflective foil and hail nets on the lighting, color and anthocyanins of ‘Fuji’ apple. Scientia Horticulturae, vol. 115, n.º 1, 40–46
- Jarvis, W. R. (1993). *Managing diseases in greenhouse crops*. St. Paul: APS Press.
- Jesus, J., Martins, G., Saraiva, R., Grego, J., Oliveira, M. (2020). *Inovação de Produto e de Processo no tomate de estufa: Monitorização em tempo real de parâmetros agronómicos*. Revista da UI_IPSantarém. Edição Temática: Ciências Naturais e do Ambiente. 8(3), 49–59.
- Jones Jr., J. B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower*. (2ª ed.). CRC Press, 440 pp.
- Jones Jr., J. B. (2007). *Tomato plant culture in the field, greenhouse, and home garden*. (2ª ed.). CRC Press, 420 pp.
- Jones Jr., J.B., 2013. *Instructions for Growing Tomatoes in the Garden and Green-House*. USA, South Carolina, Anderson: GroSystems.

- Jones Jr., J.B., 2014. *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. CRC Press, 223 pp.
- Kadam, S. U., Tiwari, B.K., O' Donnel, C. P. (2015). Improved thermal processing for food texture modification *In* Chen, J., Rosenthal, A. *Modifying Food Texture. Volume 1: Novel Ingredients and Processing Techniques* (115–131). Woodhead Publishing.
- Kader, A. A., Morris, M. A., Stevens, M. A., Albright-Holton, M. (1978). *Composition and flavor quality of fresh market as influenced by some postharvest handling procedures*. Alexandria: Journal of the American Society for Horticultural Science, vol. 103, n.º 1, 6–11.
- Kader, A. A. (1984). *Effect of postharvest handling procedures on tomato quality*. Acta Horticulturae, 209–221.
- Kader, A. A. (2007). *Postharvest Technology of Horticulture Crops*. California: California University, 535 pp.
- Khamis, H., Lusweti, K., Mwevura, H., Nyanzi, S., Kiremire, B. T. (2017). *Quantification of Lycopene from Tomatoes and Watermelons by Using Beer-Lambert Principle*. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences.
- Kluge, R. A., Minami, K. (1997). *Efeito de ésteres de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara*. Piracicaba: Scientia Agrícola, vol. 54, 39–44.
- Kosseva, M. R., Joshi, V. K., Panesar, P.S. (2017). *Waste from fruit wine production*. Science and Technology of Fruit Wine Production, 756 pp.
- Kozai, T., Niu, G., Takagaki, M. (Eds) (2020). *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production, Second Edition*. (2ª ed.). Academic Press, 516 pp.
- Kruidhof, H. M., Elmer, W. H. (2020). Cultural Methods for Greenhouse Pest and Disease Management *In* Gullino, M. L., Albajes, R., Nicot, P. C. (Eds.) *Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops, Second Edition*. (2ª ed.). Springer Nature Switzerland AG.
- Lamúa, M. (2000). *Aplicación del frío a los alimentos (Food Refrigeration)*. Madrid: Mundi-Prensa
- Lana, M. M., Finger, F. L. (2000). *Atmosfera modificada e controlada. Aplicação na conservação de produtos hortícolas*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa hortaliças, 34 pp.

- Levy, J. (2020). *Hydroponics Nutrient Solution: The Ultimate Beginners Guide to Building a Hydroponic System*, 78 pp.
- Lindquist, R. K. (1998). *Temperature in the Management of Insect and Mite Pests in Greenhouses*. CRC Press, 287–299.
- López, J. C., Lorenzo, P., Castilla, N., Pérez-Parra, J., Montero, J. I., Baeza, E., Antón, A., Fernández, M. D., Baille, A., González-Real, M. (2001). *Incorporación de Tecnología al Invernadero Mediterráneo*. Almería: Cajamar, 90 pp.
- López, S., Di Sarli, A. R. (2016). *El modelo Cielab, las fórmulas de diferencia de color y el uso de la norma europea EN12878 en morteros y hormigones coloreados*. Ciencia y tecnología de los materiales, n.º 6, 41–53.
- Louro, M., Reis, M. (2020). *Manual de cultivo sem solo. Aspectos teóricos e práticos dos cultivos hidropónicos e em substrato*. Quântica Editora, 458 pp.
- Lucas, H. (2014). *Avaliação química, física e reológica de frutos de genótipos de tomateiro de acessos tradicionais frescos e refrigerados*. Instituto Politécnico de Santarém, Escola Superior Agrária de Santarém, 132 pp.
- Malundo, T. M. M., Shewfelt, R. L., Scott, J. W. (1995). *Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels*. Postharvest Biology and Technology, 103–110.
- Mancini, L., Castrignano, A. M. (1984). *An energy analysis of a greenhouse in South Italy*. Italy: Bari University.
- Manique, V. (2011). *Gas Natural: Combustible clave en la transición hacia un sistema energético más limpio y sustentable*. Innovación-CDT de Gás, 27–31.
- Marcos, S. K., Jorge, J. T. (2002). *Desenvolvimento de tomate de mesa, com uso do método QFD (Desdobramento da Função Qualidade), comercializado em um supermercado*. Brasília: Horticultura brasileira.
- Marín, L. M. L. (2016). *Manual Técnico del cultivo de tomate. *Solanum lycopersicum**. Costa Rica: INTA, 121 pp.
- Maroto, J. V. (2002). *Horticultura Herbácea Especial*. (5ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa, 704 pp.
- Martínez, P. F., Roca, D., Suay, R., Martínez, M., Blasco, X., Herrero, J. M., Ramos, C. (2002). *Avances en el control de los factores del clima para el cultivo en invernadero*. Revista Técnica Comunitat Valenciana Agraria, vol. 20, 29–47.

- Martinez, P. F., Roca, D. (2010). El control del clima de los invernaderos de plástico. Un enfoque actualizado *In* Flórez, V. (Ed.) *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo*. (1ª ed.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 294 pp.
- Matallana Gonzales, A., Montero Camacho, J. I. (1993). *Invernaderos Diseño, Construcción y Ambientación*. Madrid: Mundi-Prensa, 159 pp.
- Maucieri, C., Nicoletto, C., Junge, R., Schmutz, Z., Sambo, P., Borin, M. (2018). *Hydroponic systems and water management in aquaponics: a review*. Italian Journal of Agronomy, vol. 13, 1–11.
- Meerow, A. W. (1994). *Growth of two subtropical ornamentals using coir dust (coconut mesocarp pith) as a peat substitute*. HortScience, vol., 29, 1484–1486.
- Mencarelli, F., Saltveit, M. E. (1988). *Ripening of mature-green tomato fruit slices*. Alexandria: Journal of American Society for Horticultural Science, vol. 113, n.º 5, 742–745.
- Miranda, C. S., Henriques, S., Rodrigues, L., Rodrigues, A. S., Monteiro, A. A., Caço, J., Reis, M., Antunes, L. E. (2004). *Manual de Culturas Hortícolas Sem Solo*. Associação Interprofissional de Horticultura do Oeste (AIHO), 152 pp.
- Miranda, T., Esteban, A., Rojas, S., Montero, I., Rui, A. (2008). *Combustion Analysis of different olive residues*. International Journal of Molecular Science, vol. 9 n.º 4, 512–525.
- Monardes, H. (2009). *Manual de cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill): Características botánicas*. Chile: Universidad de Chile, 13 pp.
- Moretti, C. L. (2006). *Protocolos de avaliação da qualidade química e física de tomate*. Brasília: Embrapa Hortaliças, 9 pp.
- Moura, M. L., Sargent, S. A, Oliveira, R. F (1999). *Efeito da atmosfera controlada na conservação de tomates colhidos em estágio intermediário de maturidade*. Piracicaba: Scientia Agrícola, vol. 56, 135–142.
- Mourão, I., Brito, L.M, Moura, M.L., R. Rodrigues (2013). *Avaliação da produtividade e qualidade de tomate produzido no solo e em hidroponia na região Noroeste de Portugal*.
- Mueller, P. (2013). *The Abundance of Fossil Fuels*. GWPF-The Global Warming Policy Foundation, vol. 6, n.º 6, 2–17.

- Nepi, M., Cresti, L., Guarnieri, M., Pacini, E. (2010). *Effect of relative humidity on water content, viability and carbohydrate profile of Petunia hybrida and Cucurbita pepo pollen*. Plant Systematics Evolution, 284(1-2), 57–64.
- Noguera, P., Abad, M., Puchades, R., Maquieira, A., Noguera, V., (2003). *Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as cointainer medium*. Communications in Soil Science and Plant Analysis, vol. 34, 593–605.
- Oliveira, W. R., Oliveira Junior, R. S., Peluzio, J. M., Fontes, P. C. R. (1995). *Distribuição da produção de frutos nos cachos de cinco cultivares de tomateiro em dois sistemas de condução*. Viçosa: Revista Ceres, vol. 42, 644–657.
- Olle, M., Ngouajio, M., Siomos, A. (2012). *Vegetable quality and productivity as influenced by growing medium: a review*. Agriculture, vol. 99, 399–408.
- Paniagua, A., East, A., Hindmarsh, J., Heyes, J. A. (2013). *Moisture loss is the major cause of firmness change during postharvest storage of blueberry*. Postharvest Biology and Technology, vol. 79, 13–19.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., Al-Said, F. A (2013). *Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review*. Food and Bioprocess Technology, vol. 6, 36–60.
- Pazinato, B. C., Galhardo, R. C. (1997). *Processamento artesanal do tomate. 2ª impressão*. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 30 pp.
- Peralta, I. E., Spooner D. M., (2005). *Morphological characterization and relationships of wild tomatoes (Solanum L. Sect. Lycopersicon)*. Monographs in Systematic Botany, vol. 104, 227–257.
- Perdikis, D. C., Lykouressis, D. P. (2002). *Life table and biological characteristics of Macrolophus pygmaeus when feeding on Myzus persicae and Trialeurodes vaporariorum*. Entomologia Experimentalis et Applicata, vol. 133, n.º 2, 125–132.
- Pokluda, R., Frantisek, K. (2001). *Effect of climate conditions on properties of hydroponic nutrient solution*. Acta Horticulturae, 611–617.
- Portas, C. M., Oliveira, W., Stilwell, M. R., Calado, A. M., Dias, U. M., Ruiz-Altisent, M. (1986). *The tomato processing industry in Portugal*. Hortscience, 21(1), 10–20.
- Prados N. C. (2007). *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo. (2ª ed)*. Madrid: Mundi-Prensa, 462 pp.
- Qaderi, M. M., Martel, A. B., Dixon, S. L. (2019). *Environmental Factors Influence Plant Vascular System and Water Regulation*. MDPI, 23 pp.

- Radzevičius, A., Karklelienė, P., Viškelis, Č. Bobinas, R. Bobinaitė, S. Sakalauskienė (2009). *Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) fruit quality and physiological parameters at different ripening stages of Lithuanian cultivars*. Lithuanian Institute of Horticulture, 712–718.
- Raupp, D. S., Gardingo, J. R., Schebeski, L. S., Amadeu, C. A., Borsato, A. V. (2009). *Processamento de tomate seco de diferentes cultivares*. Acta Amazonia, vol. 39, n.º 2, 420–422.
- Ravelo-Pérez L. M., Hernández-Borges, J., Rodríguez-Delgado, M. A., Borges-Miquel, T. M. (2008). Spectrophotometric Analysis of Lycopene *In Tomatoes and Watermelons: A Practical Class* (11–13). The Chemical Educator.
- Resende, J. M. (1995). *Qualidade pós-colheita de dez genótipos de tomate do grupo multilocular*. Lavras: Universidade federal de Lavras, 90 pp.
- Resende, J. M., Chitarra, M. I., Maluf, W. R., Chitarra, A. B., Saggin Jr., O. J. (2004). *Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular*. Brasília: Horticultura Brasileira, vol. 22, n.º 2, 201–206.
- Resh, H. M. (2002). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. (6ª ed.). CRC Press, 568 pp.
- Ríos, D., Santos, B., Díaz, D., García, N. (2003). *Ensayos de cultivares de tomate de exportación en Tenerife: II. Comportamiento en postcosecha*. Agrícola Vergel: Fruticultura, Horticultura, Floricultura, 504–511.
- Roberto, K. (2003). *How-to Hydroponics*. (4ª ed.). Future Garden Inc., 104 pp.
- Rodríguez, C., Iriarte, A., Luque, V. H. (2001). *Sistema auxiliar de calentamiento de aire utilizando biomasa como combustible para acondicionar invernaderos*. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 5, 13–18.
- Rosa, C. L., Soares, A. G., Freitas, D. F., Rocha, M C., Ferreira, J. C., Godoy, R. L. (2011). *Caracterização físico-química, nutricional e instrumental de quatro acessos de tomate italiano (Lycopersicum esculentum mill) do tipo “Heirloom” produzido sob manejo orgânico para elaboração de polpa concentrada*. Alimentos e nutrição Araraquara, vol. 22, n.º 4, 649–656.
- Rosa-Rodríguez, R., Lara-Herrera, A., Padilla-Bernal, L., Avelar-Mejía, J., España-Luna, M. (2018). Proportion of drainage of the nutritive solution in the yield and quality of tomato in hydroponics. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 20.

- Rosa-Rodríguez, R., Lara-Herrera, A., Trejo-Télez, L., Padilla-Bernal, L., Solis-Sánchez, L., Ortiz-Rodríguez, J. (2020). Water and fertilizers use efficiency in two hydroponic systems for tomato production. Recuperado de: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362020000100047&lang=pt#B4.
- Sadler, G. D., Murphy, P.A. (2010). Ph and Titratable Acidity *In* Nielsen, S. S., *Food Analysis* (219–239). (4^a ed.). USA: Springer.
- Saltveit, M. E. (2005). Fruit ripening and fruit quality *In* Heuvelink, E., *Tomatoes* (145–171). UK: CABI Publishing.
- Sapers, G. M., Phillips, J. G., Panasiuk, O., Carré, J., Stoner, A. K.; Barksdale, T. (1978) *Factors affecting the acidity of tomatoes*. Mount Vernon: HortScience, , vol. 13, n.º 2, 187–189.
- Saraiva, R., Dias, I., Reis, A., Matos, A., Faro, M., Oliveira, M. (2020). *Características do tomate de estufa – cultivo em substrato vs cultivo em solo*. Revista da UI_IPSantarém. Edição Temática: Ciências Naturais e do Ambiente, vol. 8, n.º 3, 60–69.
- Satyanarayana, K. G., Kulkarni, A. G., Rohatgi, P. K. (1981). *Structure and properties of coir fibers*. Proceedings Indian Academy Science, vol. 4, 419–436.
- Semillaria (2015). *Clasificación taxonómica de tomate*. Acedido em mar. 8, 2021 disponível em: <http://semillaria.es/index.php/cultivos-ok/29-cultivos/94-taxonomia>.
- Semillas Fitó (2021). Acedido em jan. 12, 2021 disponível em: <https://www.semillasfito.es/media/5564/ficha-tomate-bigram-a5-esp.pdf>.
- Shamshiri, R. R., Jones, J. W., Thorp, K. R., Ahmad, D., Hasfalina, C. M., Sima, T. (2018). *Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review*. International Agrophysics, 287–302.
- Sheehy, R. E., Kramer, M., Hiatt, W. (1988). *Reduction of polygalacturonase activity in tomato fruit by antisense RNA*. Proceedings of the National Academy of Science, 8805–8809.
- Shewfelt, C. N., Thai, J. W., Davis, J. W. (1988). Prediction of changes in color of tomatoes during ripening at different constant temperatures. *Journal of Food Science*, vol. 53, 1433–1437.

- Shi, J. X., Le Magher, M., Liptay, A., Wang, S. L. (1999). *Chemical composition of tomatoes as affected by maturity and fertigation practices*. Trumbull: Journal of Food Quality, vol. 22, 147–156.
- Shi, J. X., Le Magher, M. (2000). *Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing*. CRC - Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1–42.
- Shipp, L., Johansen, N., Vänninen, I., Jacobson, R. (2011). *Greenhouse climate: An important consideration when developing pest management programs for greenhouse crop*. Acta horticulturae, vol. 893, 133–143.
- Short, T. H., Draper, C. M., Donnell, M. A. (2005). *Web-based decision support system for hydroponic vegetable production*. Belgium: Acta Horticulturae, International Society of Horticultural Science (ISHS), 867–870.
- Siebielec, G., Ukalska-Jaruga, A., Kidd, P. (2014) Bioavailability of trace elements in soils amended with high-phosphate materials *In* Selim, H. M, (Ed.) *Phosphate in soils: interaction with micronutrients, radionuclides, and heavy metals bioavailability of trace elements in soils amended with high-phosphate materials*. Boca Raton: CRC Press, 237–268.
- Silva, J. B. C., Giordano, L. B. (2000). *Tomate para processamento industrial*. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças, 168 pp.
- Stanghellini, C. (2010). *Water use efficiency of tomatoes - in greenhouses and hydroponics*. Practical Hydroponics & Greenhouses.
- Stan2web (2020). *References*. Acedido em abr. 7, 2021 disponível em: <https://www.stan2web.net/infos/references>.
- Steiner, A. A. (1984). *The universal nutrient solution*. Sixth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, 633–649.
- Stevens, M. A., Kader, A. A., Albright, M. (1979). *Potential for increasing tomato flavor via increased sugar and acid content*. Journal of the American Society for Horticultural Science, 40–42.
- Strofyas, A. (s.d.). *The extracted olive pomace (olive pits) for fuel. Utilization of biomass the extracted pomace olive*. Greece: University of Patras. Acedido em abr. 8, 2021 disponível em: <https://sites.google.com/site/pyrhnoxylo/pyrenelaiourgeia-1/to-pyrenoxylo-san-kausimo/anglika>.

- Sun, J., Künnemeyer, R., McGlone, A. (2017). Optical Methods for Firmness Assessment of Fresh Produce: A Review *In* Kahramanoglu, I. (Ed.) *Postharvest Handling* (. IntechOpen, 126–139.
- Sutherland, T. (2020). *Hydroponics Gardening Guide: From Beginner to Expert on Quickly Producing and Storing Delicious Natural Fruits, Vegetables, Berries And Spices From Your Own Garden*. Chronos Publishing LLC, 26 pp.
- Tanksley, S. D. (2004). *The Genetic, Developmental, and Molecular Bases of Fruit Size and Shape Variation in Tomato*. American Society of Plant Biologists, 181–189.
- Terés, T. V. (2001). *Relaciones aire agua en substratos de cultivo como base para el control de riego. Metodología de laboratorio y modelización*. 483 pp.
- The Encyclopedia Americana (2002). University of Michigan, vol. 14, 661–662.
- van Lenteren, J. C. (2012). *The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake*. *Biocontrol*, 1–20.
- Urbaneja, A., Tapia, G., Stansly, P. (2005). *Influence of host plant and prey availability on developmental time and survivorship of Nesidiocoris tenuis (Het.: Miridae)*. *Biocontrol Science and Technology*, vol. 15, n.º 5, 513–518.
- Vida, J. B., Zambolim, L., Costa, H., Vale, F. X. R. (2001). Manejo de doenças em cultivos protegidos (53-118) *In* Zambolim, L. (Ed.) *Manejo integrado, fitossanidade, cultivo protegido, pivô central e plantio direto*. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, Lda.
- Vinci, G., Rapa, M. (2019). *Hydroponic cultivation: life cycle assessment of substrate choice*. *British Food Journal*, vol. 121, n.º 8, 1801–1812.
- Vourdoubas, J. (2018). *Possibilities of Using Industrial Waste Heat for Heating Greenhouses in Northern Greece*. *Journal of Agricultural Science*, vol. 10, n.º 4, 116–123.
- Walker, J. N., Aldrich, R. A., Short, T. H. (1983). Quantity of air flow for greenhouse structures *In* Hellickson, M. A., Walker, J. N. (Eds) *Ventilation of Agricultural Structures*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 372 pp.
- Wang, X., Zhang, W., Liu, X. (2013). *Daily variations in transpiration rate and water potential of Robinia pseudoacacia*. *Journal of Food Agriculture and Environment*, vol. 11, n.º 1, 999–1005.
- Weintraub, P., Kleitman, S., Shapira, N., Argov, Y., Pavlevsky, E. (2006). *Efficacy of Phytoseiulus persimilis versus Neoseiulus californicus for controlling spider mites on greenhouse sweet pepper*. *IOBC WPRS Bull*, vol. 29, 121–125.

- Wittwer, S. H., Castilla, N. (1995). *Protected cultivation of horticultural crops, worldwide*. HortTechnology, vol. 5, 6–23.
- Yahia, E. M. (2010). The Contribution of Fruit and Vegetable Consumption to Human Health
In Rosa, L. A. de la, Alvarez-Parrilla, E., González-Aguilar, G. A., *Fruit and Vegetable Phytochemicals – Chemistry, Nutritional Value, and Stability* (3–53). USA: Wiley-Blackwell.
- Zambrano, J., Moyeja, J., Pacheco, L. (1996). *Efecto del estado de madurez en la composición y calidad de frutos de tomate*. Agronomía Tropical, vol. 46, 61–72.
- Žnidarčič, D., Ban, D., Ilak-Peršurić, A., Oplanić, M., Bizjak, A. (2008). Yield and quality of sweet corn (*Zea mays* L. var. *saccharata*) cultivars grown on different soil types. Cereal Research Communications, vol. 36, 147–150.

Apêndice I

Valores dos parâmetros físico-químicos: peso, calibre, SST, ATT e pH dos frutos da estufa A. Recolha de 02 de abril.

Nota: e.g. A1 = estufa A, linha aleatória 1; Os parâmetros peso e calibre possuem cinco leituras correspondentes a cinco frutos diferentes. Os restantes parâmetros (SST, ATT, pH) possuem duas leituras realizadas à mesma mistura homogénea resultante de três dos cinco frutos iniciais.

Amostra	Peso (g)	Calibre (mm)	°Brix		Acidez total (%)		pH	
A1	287,10	86,70	4,00	4,10	0,61	0,61	4,20	4,21
A1	279,40	93,04						
A1	393,70	94,08						
A1	274,80	96,12						
A1	298,20	101,99						
Média total	306,64	94,39	4,05		0,61		4,21	
A2	447,30	99,28	3,80	3,80	0,58	0,58	4,26	4,28
A2	440,50	111,48						
A2	383,90	107,67						
A2	379,40	132,76						
A2	300,80	112,70						
Média total	390,38	112,78	3,80		0,58		4,27	
A3	448,30	112,71	4,20	4,20	0,64	0,64	4,23	4,23
A3	387,40	104,20						
A3	361,40	99,80						
A3	393,20	113,30						
A3	423,60	113,04						
Média total	402,78	108,61	4,20		0,64		4,23	
A4	409,50	92,94	4,70	4,70	0,66	0,65	4,14	4,14
A4	346,00	104,42						
A4	372,70	105,55						
A4	310,80	102,31						
A4	284,90	109,03						
Média total	344,78	102,85	4,70		0,66		4,14	

Apêndice II

Valores dos parâmetros físico-químicos: peso, calibre, SST, ATT e pH dos frutos da estufa B. Recolha de 25 de maio.

Nota: e.g. B2 = estufa B, linha aleatória 2; Os parâmetros peso e calibre possuem cinco leituras correspondentes a cinco frutos diferentes. Os restantes parâmetros (SST, ATT, pH) possuem duas leituras realizadas à mesma mistura homogénea resultante de três dos cinco frutos iniciais.

Amostra	Peso (g)	Calibre (mm)	°Brix		Acidez total (%)		pH	
B1	112,2	63,31	4,3	4,3	0,64	0,64	4,34	4,33
B1	90,5	57,45						
B1	101,1	57,41						
B1	97,6	56,48						
B1	112	58,81						
Média total	102,68	58,69	4,3		0,64		4,335	
B2	87,3	56,54	4,1	4,2	0,56	0,53	4,33	4,31
B2	97,8	58,23						
B2	78,1	53,08						
B2	96,9	58,37						
B2	98,7	61,54						
Média total	91,76	57,55	4,15		0,545		4,32	
B3	89,9	58,19	4,5	4,6	0,58	0,57	4,41	4,4
B3	81,5	55,92						
B3	83,6	53,3						
B3	101,6	57,42						
B3	78,4	53,81						
Média total	87,00	55,73	4,55		0,575		4,405	
B4	154,6	72,09	4,1	4,1	0,54	0,54	4,2	4,2
B4	128,3	63,68						
B4	105,8	58,23						
B4	112,1	61,03						
B4	88,8	57,29						
Média total	117,92	62,46	4,1		0,54		4,2	

Apêndice III

Valores da matéria seca dos frutos nas estufas A e B.

Código	Peso inicial (g)	Amostra (g)	Peso conjunto (g)	Peso final (g)	W (%)	Matéria seca (%)
A1	14,4755	5,3178	19,7933	14,7655	94,5466	5,45
A1	27,7207	5,168	32,8887	28,0043	94,5124	5,49
A1	25,5646	5,1666	30,7312	25,8417	94,6367	5,36
					Média total	5,43
A2	13,7173	5,2041	18,9214	14	94,5677	5,43
A2	26,6241	5,1675	31,7916	26,8956	94,7460	5,25
A2	18,0235	5,1148	23,1383	18,2852	94,8835	5,12
					Média total	5,27
A3	24,5881	5,1166	29,7047	24,8722	94,4475	5,55
A3	24,2353	5,027	29,2623	24,4994	94,7464	5,25
A3	26,7812	5,0911	31,8723	27,0621	94,4825	5,52
					Média total	5,44
A4	14,5172	5,3101	19,8273	14,8095	94,4954	5,50
A4	14,2739	5,1608	19,4347	14,5518	94,6152	5,38
A4	26,3292	5,1308	31,46	26,6097	94,5330	5,47
					Média total	5,45

Código	Peso inicial (g)	Amostra (g)	Peso conjunto (g)	Peso final (g)	W (%)	Matéria seca (%)
B1	24,1547	5,1116	29,2663	24,3801	95,5904	4,41
B1	24,0522	5,1097	29,1619	24,2768	95,6044	4,40
B1	24,5606	5,1016	29,6622	24,7908	95,4877	4,51
					Média total	4,44
B2	24,2088	5,0043	29,2131	24,4292	95,5958	4,40
B2	24,0231	5,0788	29,1019	24,2384	95,7608	4,24
B2	24,6901	5,0993	29,7894	24,9172	95,5464	4,45
					Média total	4,37
B3	24,3865	5,2684	29,6549	24,6548	94,9074	5,09
B3	24,2508	5,0967	29,3475	24,5104	94,9065	5,09
B3	24,4777	5,1431	29,6208	24,7284	95,1255	4,87
					Média total	5,02
B4	24,0709	5,1015	29,1724	24,3089	95,3347	4,67
B4	24,1755	5,1176	29,2931	24,4085	95,4471	4,55
B4	24,6161	5,0166	29,6327	24,843	95,4770	4,52
					Média total	4,58

Apêndice V

Valores dos parâmetros de textura dos frutos da estufa B. Recolha de
25 de maio

Linhas	Força de fratura (N)	Dureza (N)	Módulo Aparente (N/s)	Força adesiva (N)	Adesividade (N/s)	Pico de Carga (N)	Deformação ao pico de carga (N)
B1	0,26	0,45	0,69	-0,38	-0,06	0,45	7,64
B1	0,33	0,36	0,70	-0,32	-0,07	0,36	0,53
B1	0,21	0,39	2,43	-0,27	-0,04	0,39	7,28
B1	0,12	0,20	0,67	-0,20	-0,05	0,20	2,08
B1	0,18	0,27	0,97	-0,26	-0,04	0,27	5,36
Média total	0,22	0,34	1,09	-0,29	-0,05	0,34	4,58
B2	0,24	0,28	1,19	-0,26	-0,05	0,28	2,95
B2	0,26	0,38	1,18	-0,33	-0,05	0,38	3,04
B2	0,32	0,42	0,78	-0,30	-0,05	0,42	3,27
B2	0,25	0,29	1,32	-0,21	-0,04	0,29	4,35
B2	0,14	0,32	2,20	-0,24	-0,04	0,32	5,45
Média total	0,24	0,34	1,33	-0,27	-0,05	0,34	3,81
B3	0,26	0,47	1,37	-0,35	-0,06	0,47	4,92
B3	0,18	0,34	0,94	-0,36	-0,05	0,34	7,39
B3	0,26	0,32	0,86	-0,21	-0,04	0,32	3,10
B3	0,23	0,36	1,06	-0,28	-0,05	0,36	5,25
B3	0,28	0,40	0,90	-0,38	-0,06	0,40	5,70
Média total	0,24	0,38	1,03	-0,31	-0,05	0,38	5,27
B4	0,33	0,75	1,55	-0,62	-0,11	0,75	5,73
B4	0,28	0,34	0,95	-0,29	-0,04	0,34	0,42
B4	0,26	0,30	0,78	-0,28	-0,04	0,30	0,45
B4	0,38	0,73	2,18	-0,51	-0,09	0,73	5,63
B4	0,25	0,39	1,44	-0,29	-0,04	0,39	2,90
Média total	0,30	0,50	1,38	-0,40	-0,06	0,50	3,02

Apêndice VI

Valores dos parâmetros de cor dos frutos da estufa A. Recolha de 02
de abril

Nota: Não foi possível a realização de leituras nos frutos pertencentes à linha aleatória A2.

Amostra	L*(C)	a*(C)	b*(C)	C*	H°
Padrão	45,26	-11,49	21,68	24,54	-62,08
A1	41,60	-7,64	20,58	22,13	-70,08
A1	39,05	-11,44	21,32	24,20	-61,83
A1	36,28	-6,14	18,07	19,11	-70,89
A1	38,97	-7,98	18,17	19,84	-66,31
A1	42,46	-4,12	21,88	22,27	-79,61
Média total	39,67	-7,46	20,00	21,51	-69,75
A2	–	–	–	–	–
A2	–	–	–	–	–
A2	–	–	–	–	–
A2	–	–	–	–	–
A2	–	–	–	–	–
Média total	–	–	–	–	–
A3	38,37	-6,20	20,05	21,22	-73,15
A3	38,67	0,52	17,50	18,43	-71,81
A3	39,69	-7,66	18,00	19,61	-67,62
A3	39,68	-7,95	19,74	21,36	-67,76
A3	39,34	-8,72	18,67	20,60	-64,98
Média total	39,15	-6,00	18,79	20,24	-69,06
A4	35,35	-6,40	16,62	17,83	-68,38
A4	39,26	-6,83	18,17	19,52	-68,23
A4	40,86	-5,31	20,46	21,18	-75,08
A4	40,46	-6,97	21,36	22,46	-71,98
A4	38,66	-8,87	19,58	21,49	-65,65
Média total	38,92	-6,88	19,23	20,50	-69,86

Apêndice VII

Valores dos parâmetros de cor dos frutos da estufa B. Recolha de 25 de maio.

Amostra	L*(C)	a*(C)	b*(C)	C* novo	Hº novo
Padrão	33,32	14,26	14,67	20,46	45,81
B1	33,77	14,68	14,97	20,97	45,56
B1	34,74	17,17	17,25	24,34	45,12
B1	39,88	23,26	21,60	31,74	42,90
B1	39,65	21,78	22,62	31,40	46,08
B1	38,89	27,31	25,49	37,35	43,02
Média total	37,38	20,84	20,38	29,16	44,54
B2	36,02	19,34	18,53	26,78	43,79
B2	36,70	20,62	20,38	28,99	44,76
B2	35,64	17,80	18,18	25,44	45,65
B2	37,49	19,25	22,39	29,54	49,31
B2	37,84	25,89	21,49	33,65	39,65
Média total	36,74	20,58	20,19	28,88	44,63
B3	38,08	23,46	21,73	31,98	42,81
B3	34,86	18,21	18,44	25,92	45,36
B3	36,14	17,96	18,13	25,52	45,28
B3	35,82	20,70	18,23	27,58	41,37
B3	35,99	21,45	20,08	29,39	43,17
Média total	36,18	20,35	19,32	28,08	43,60
B4	35,21	14,62	17,05	22,48	49,94
B4	35,15	15,04	15,09	21,30	45,08
B4	32,74	13,95	15,00	20,49	47,30
B4	41,59	5,61	23,59	24,70	77,23
B4	39,07	24,24	24,12	34,19	44,86
Média total	36,75	14,69	18,97	24,63	52,88

Anexo I

Artigo “*Inovação de produto e de processo no tomate de estufa: monitorização em tempo real de parâmetros agronómicos*” publicado na *Revista UI_IPSantarém*, edição temática Ciências Naturais e do Ambiente, volume 8, número 3.

8 - 3 | 2020

INOVAÇÃO DE PRODUTO E DE PROCESSO NO TOMATE DE ESTUFA: MONITORIZAÇÃO EM TEMPO REAL DE PARÂMETROS AGRONÓMICOS

Product and process innovation in greenhouse tomato: real-time monitoring of agronomic parameters

Innovación de producto y proceso en tomate de invernadero: monitorización en tiempo real de parámetros agronómicos

Electronic version

URL: <https://revistas.rcaap.pt/uiips/> ISSN: 2182-9608

Publisher

Revista UI_IPSantarém

Printed version

Date of publication: 31st October 2020 Number of pages: 49-59

ISSN: : 2182-9608

Electronic reference

Jesus, J., Martins, G., Saraiva, R., Grego, J. & Oliveira, M. (2020). *Inovação de Produto e de Processo no tomate de estufa: Monitorização em tempo real de parâmetros agronómicos*. Revista da UI_IPSantarém. *Edição Temática: Ciências Naturais e do Ambiente*. 8(3), 49-59. <https://revistas.rcaap.pt/uiips/>.



INOVAÇÃO DE PRODUTO E DE PROCESSO NO TOMATE DE ESTUFA: MONITORIZAÇÃO EM TEMPO REAL DE PARÂMETROS AGRONÓMICOS

Product and process innovation in greenhouse tomato: real-time monitoring of agronomic parameters

RESUMO

O tomate, devido ao seu equilibrado potencial nutricional, integra uma posição relevante na economia e gastronomia. Sendo uma cultura de elevada produção, a procura por técnicas de cultivo que incrementem a qualidade do produto final é uma constante, por forma a satisfazer as exigências dos consumidores e, concomitantemente, assegurar uma aplicação eficiente dos recursos associados à produção. Neste âmbito, a automatização da agricultura constitui um passo fundamental para a inovação, sustentabilidade e apoio à decisão. No presente estudo, propõe-se conceber e implementar um sistema de monitorização em tempo real, à escala piloto, para a produção de tomate de estufa em hidroponia climatizada. O sistema apresentado dispõe de vários tipos de sensores que emitem sinal para um nó central, os dados são detetados e enviados para um computador ou telemóvel do agricultor. Este estudo encontra-se inserido no projeto TomatInov e decorreu na região do Oeste, em Portugal.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, Dados em tempo real, Eficiência de recursos, Parâmetros agronómicos, Tomate hidropónico

ABSTRACT

Due to its balanced nutritional potential, tomato stands in a relevant position in economy and gastronomy. Considering that it is a high production culture, the pursue of new techniques that increase the quality of the final product is constant, in order to satisfy consumer demand and concomitantly ensure an efficient application of the resources associated to production. In this context, the automation of agriculture is a fundamental step towards innovation, being known as precision agriculture. In the present study, a pilot-scale real-time monitoring system, to produce

greenhouse tomatoes in acclimatized hydroponics is proposed. The presented system has several types of sensors that send a signal to a central node, the data is then detected and sent to a farmer's computer or mobile phone. This study is part of the TomatInov project and took place in the West region (Oeste), in Portugal.

Keywords: Agronomic parameters, Hydroponic tomato, Real-time monitoring, Resource efficiency, Sustainable agriculture

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro é uma planta da família das solanáceas, originária da zona andina da América do Sul (Costa & Heuvelink, 2005; Dam, Goffau, Hilmi, Jeude & Naika, 2006). Apesar de ser cultivado de forma anual, é uma planta herbácea perene, alcançando alturas de dois metros e possibilitando a colheita de frutos ao longo de vários anos. O tomate (*S. lycopersicum*) apresenta um equilibrado potencial nutricional, desta forma, o seu consumo é bastante difundido, integrando uma fração significativa da economia e gastronomia mundiais (Brasescio, Asgedom & Casari, 2019; Dam *et al.*, 2006). Globalmente, é a terceira cultura hortícola mais produzida sendo apenas superada pela batata e batata-doce. No entanto, ocupa o primeiro lugar das culturas hortícolas mais processadas (Brasescio *et al.*, 2019). À semelhança da situação global, a nível nacional, a cultura apresenta também grande relevância. Segundo INE (2019), verifica-se que apesar da área de cultivo ao ar livre ser mais representativa, a produção em estufa representa 8,6% da área total ocupada e 7,8% da produção total, possuindo grande importância no mercado pois através do condicionamento ambiental é possível ajustar a produção às janelas de mercado. Na região do Oeste, o tomate para consumo em fresco apresenta grande expressão, verificando-se cada vez mais o acréscimo em área, número de explorações e técnicas inovadoras de cultivo, em parte, para colmatar a competitividade empresarial espanhola (Mota, 2007).

Habitualmente, utiliza-se o conceito de hidroponia para designar cultivo sem solo (CSS), no entanto, ainda que não seja errado pela sua praticabilidade, hidroponia é apenas uma derivação dos sistemas de cultivo sem solo, que assume o desenvolvimento da cultura em solução nutritiva (Jones Jr., 2005). Destacam-se três principais sistemas de CSS: hidropónico (NFT, em água, por nebulização, entre outros), aeropónico e em substrato (inorgânico ou orgânico), notando-se como pontos comuns transversais a todos os métodos, a ausência de solo como meio de cultura e a utilização de solução nutritiva ou água enriquecida em nutrientes, como fonte nutricional (Almeida & Reis, 2017). Os problemas ambientais associados à eliminação dos resíduos dos substratos de cultivo têm contribuído para a adoção de substratos que utilizam resíduos orgânicos, compostados ou não, menos agressivos para o ambiente, como é o caso da fibra de coco (Gavilán, 2004).

Os sistemas hidropónicos são particularmente exigentes a nível técnico e económico, no entanto apresentam-se como uma nova forma de produção altamente rentável e intensiva, assegurando a redução dos *inputs* (Miranda *et al.*, 2004; Mourão, Brito, Moura & Rodrigues, 2013). A eficiente gestão dos *inputs* que a cultura requer, apresenta grande importância, tanto por questões económicas como ambientais. Por forma a garantir a máxima eficiência no processo produtivo, é fundamental monitorizar uma série de parâmetros. Nos sistemas de cultivo sem solo, pelo condicionalismo do crescimento radicular, as alterações bruscas nas condições ambientais sentem-se mais rapidamente. É importante manter sempre a dotação de água adequada, tendo em conta a sua importância nos processos metabólicos e manutenção da turgescência na planta (Louro & Reis, 2020). Nestes sistemas, também os nutrientes são incorporados na rega sob a forma de soluções-mãe, altamente concentradas, uma vez que as culturas são muito exigentes em solução nutritiva e desta forma se contorna o gasto de grandes quantidades de água para a sua preparação (Almeida & Reis, 2017). A temperatura ambiente influencia o consumo de água e a absorção de nutrientes, na medida em que o seu aumento favorece o consumo de água e nutrientes. Porém, caso se atinja a temperatura máxima biológica, por motivos fisiológicos, dá-se uma paralisação da absorção dos

nutrientes e assim, o ideal é que para culturas protegidas as temperaturas oscilem entre os 17 °C e os 27 °C (Jones Jr., 2007; Louro & Reis, 2020; Mota, 2007). A nível mundial o aquecimento global e consequentes situações de clima atípico são cada vez mais frequentes, tornando a disponibilidade de água um fator preocupante (De Wrachien & Goli, 2015; Rosa-Rodríguez *et al.*, 2020). Segundo a *World Health Organization* (2019), estima-se que em 2025 metade da população mundial resida em zonas de stress hídrico. Assim, os sistemas de CSS em estufa assumem-se como medida mitigadora do problema da escassez de água, uma vez que reduzem as perdas por evaporação e percolação, devido ao condicionamento ambiental (De Wrachien & Goli, 2015). Segundo Rosa-Rodríguez *et al.* (2020), os sistemas hidropónicos são mais eficientes no uso de água e fertilizantes que a agricultura convencional, verificando-se também que face aos sistemas abertos, os sistemas hidropónicos fechados são cerca de 23% mais eficazes na eficiência de uso de água e fertilizantes. Tendo em conta a translucidez das coberturas das estufas, é normal que no período diurno as temperaturas sejam mais elevadas e, que o contrário aconteça no período noturno, podendo até verificar-se situações de inversão térmica face ao exterior. Em locais menos propícios a nível térmico, deve ponderar-se a implantação de sistemas de aquecimento caso a temperatura média diária seja ≤ 12 °C ou, caso se verifiquem temperaturas próximas de 0 °C ameaçando o congelamento dos tecidos. Ao passo que, caso a temperatura média diária seja ≥ 22 °C, aconselha-se a integração de sistemas de arrefecimento. A temperatura do substrato influencia proporcionalmente o aporte de água e nutrientes. Em 1977, Harssema observou que, a 20 °C, o aporte era mais significativo, no entanto, considerou o intervalo de temperaturas ótimo de desenvolvimento entre os 20 °C e os 30 °C, constatando um decréscimo no crescimento para valores discrepantes (Jones Jr., 2007). Temperaturas inferiores a 15 °C afetam negativamente a absorção de fósforo e potássio (Alarcón, 2000). O pH exerce grande influência na absorção iónica, devendo ser monitorizado frequentemente, em especial para garantir que os gotejadores e tubagens de rega não entupam devido à precipitação dos sais presentes nos adubos, contribuindo para um desenvolvimento deficiente das plantas (Almeida & Reis, 2017). O pH das drenagens, por norma, altera consoante o estado fisiológico da cultura. Na fase de crescimento vegetativo, há uma tendência para a alcalinização, porém quando se inicia a maturação dos frutos, e consequente aumento da absorção catiónica, há tendência para a acidificação (Jones Jr., 2007). De acordo com Almeida (2006), a cultura do tomate apresenta resistência moderada à acidez, no entanto, para valores entre os 6 a 6,5 a absorção de nutrientes é ótima e a probabilidade de precipitação de sais é baixa. A condutividade elétrica corresponde à salinidade das soluções nutritivas (Almeida & Reis, 2017). Existem alterações na CE consoante o período do dia, podendo haver necessidade de adotar intervalos de CE, utilizando valores mais altos para o período diurno, e o contrário para o período noturno. Para a cultura do tomate, durante o dia pode usar-se $2,2 \text{ dS m}^{-1}$, e durante a noite $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (Miranda *et al.*, 2004). Uma CE inferior ao mínimo mencionado nas águas de drenagem revela a necessidade de aumentar a concentração de nutrientes, ao passo que, para leituras de CE superiores ao máximo mencionado, deve diminuir-se a CE da solução nutritiva e, simultaneamente, adaptar a frequência e/ou dotação das regas (Mota, 2007). A CE é em grande parte condicionada pela qualidade da água, uma vez que uma água de menor qualidade apresenta valores de CE mais elevados, deixando uma margem mais reduzida para a inserção de nutrientes, sem que se exceda os $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ que, segundo Almeida (2006) é um valor de referência máximo para o qual não se verifica efeitos contraditórios ao desenvolvimento da cultura (Miranda *et al.*, 2004). A humidade relativa (HR) corresponde à razão entre a quantidade de vapor de água presente na atmosfera a uma determinada temperatura e a quantidade máxima de vapor de água que o ar pode reter, para o mesmo valor de temperatura e é expressa em percentagem (Dam *et al.*, 2006; Gavilán, 2004). A humidade relativa afeta a evapotranspiração, a polinização e a presença de inimigos da cultura, em especial doenças, dado que nas primeiras horas do dia a condensação do orvalho pode favorecer a germinação dos esporos de fungos. No caso do tomate, condições de elevadas HR e transpiração contribuem favoravelmente na circulação do cálcio na planta, diminuindo o risco de podridão apical. Em contrapartida, em situações de baixa HR, a nível geral a percentagem de cálcio e fósforo diminuem e, nas folhas mais jovens, o mesmo se verifica no caso do potássio e magnésio (Miranda *et al.*, 2004).

Para garantir a monitorização de todos os parâmetros acima mencionados, bem como outros parâmetros agronómicos das culturas, o leque de soluções disponíveis é alargado. É reconhecido

que cada vez mais a tecnologia fará a diferença na forma como a agricultura evoluirá nas próximas décadas, cada vez mais alavancada na recolha de dados, na informação condensada a partir desses dados e na capacidade de gerar atempadamente as melhores decisões suportadas por essa informação. As soluções existentes dividem-se em dois grupos: a) as que têm um forte cariz de investigação e desenvolvimento e estão neste momento a ser desenvolvidas em parcerias entre empresas e instituições de ensino/investigação, e b) as que já estão suficientemente maduras e robustas, já disponíveis no mercado na forma de produto ou serviço. Um exemplo do primeiro grupo é o Projeto AgriNuPes (<https://www.agrinupes.eu/>), um projeto europeu cujos principais objetivos são o desenvolvimento de um sensor NPK (a cargo do INESC-TEC) e de um biossensor para deteção de dois pesticidas bastante utilizados em horticultura. Tipicamente, estes equipamentos representam um grande salto na capacidade de analisar os fatores agronómicos abordados, mas não têm ainda maturidade para entrar no mercado. No outro lado da balança, existe um grande número de produtos que já provaram as suas capacidades e estão no mercado há vários anos e, neste caso, assumem-se três segmentos. No topo estão soluções extremamente robustas, redundantes e bem desenvolvidas que estão muitas vezes integradas com outras soluções utilizadas em agricultura, como por exemplo, soluções de fertirrega e hidroponia. É uma ligação simbiótica, uma vez que estes sistemas já utilizam uma variedade de sensores de monitorização das condições ambientais, incluindo algumas características físico-químicas da água. Estas soluções, representam, contudo, um enorme investimento financeiro na ordem das dezenas de milhares de euros que não são compatíveis com a grande maioria das pequenas e médias explorações agrícolas. No outro extremo encontram-se as soluções muito simples, financeiramente acessíveis e que geralmente são originárias de outras atividades, como por exemplo, a aquariofilia e o tratamento de piscinas, mas que, no geral, servem os propósitos mais simples da monitorização das variáveis mais relevantes para o desenvolvimento agronómico da maior parte das culturas. Entre estes dois segmentos existe um grande intervalo, ocupado por empresas capazes de disponibilizar produtos personalizados e, simultaneamente responderem a necessidades muito específicas dos seus clientes, mantendo alguma simplicidade.

Foi nesta premissa que, no projeto TomatlNov, se está a desenvolver uma solução de monitorização em tempo real, adequada às necessidades da cultura do tomate num sistema de cultura sem solo em estufa. A solução proposta passa pela utilização de um equipamento de monitorização modular construído com as especificações pretendidas, possibilitando assim a análise das diferentes variáveis com relevância agronómica na cultura do tomate e, concomitantemente, disponibilizando-as em tempo real, de forma direta e conveniente. Desta forma, pretende-se atingir o objetivo de incrementar a eficiência da utilização dos recursos, em especial água e fertilizantes e, simultaneamente, possibilitar uma melhoria na produtividade e qualidade do produto final, contribuindo para o posicionamento do Oeste como um território de excelência para a produção de tomate para consumo em fresco, sem resíduos e de qualidade sensorial consistente.

2. MÉTODO

2.1. Estudo de caso

O ensaio decorreu numa estufa de hidroponia, pertencente a uma empresa dedicada à produção de hortícolas em estufa, localizada na região do Oeste. A estufa apresenta ventoinhas de circulação de ar (Figura 1) e é climatizada com recurso a uma caldeira de biomassa alimentada com caroço de azeitona (Figura 2), que canaliza o calor por tubagens secundárias junto à base da planta. Possui nove sondas de temperatura com *set point* médio de 14 °C. A variedade em estudo foi a *Runner* em porta-enxerto *Emperor*.



Figura 25: Ventoinhas de circulação de ar.



Figura 26: Depósito de caroço de azeitona e caldeira.

2.2 Monitorização em tempo real

O equipamento de monitorização em tempo real (Figura 3) encontra-se instalado ao centro da estufa e abrange uma bandeja de inox (sem marca - modelo construído por encomenda) com duas placas de fibra de coco revestidas a polietileno branco/preto, onde constam duas plantas por placa (Figura 4). Os sensores (Figura 5) conectados à unidade de controlo (PLC HORNER XLT 240-C116 com uma carta de expansão SMART STIX HE559ADC970, um HERMES M100 MODBUS e respetiva fonte de alimentação de 24V, WEIDMULLER) possibilitam a monitorização em tempo real das seguintes variáveis agronómicas: temperatura do substrato (1- sonda RESIPREL PT-100); pH à saída (2 - sonda PH HI1001); condutividade elétrica à saída (3 - sonda EC HI3002); monitorização do fluxo de saída de água através de um pluviómetro de báscula (4 - PM1); temperatura e humidade do ar (5 - sonda DHT22); peso do sistema, através das células de carga horizontais e verticais (6 - respetivamente RSC-1 de 50KG e RSC-1 de 30KG); e monitorização do fluxo de entrada de água através do uso de caudalímetro (KOBOLD-DRG DE 1,5 A 30L/H). É emitido um sinal para um nó central, os dados são detetados e enviados em tempo real para a plataforma *Meteoagri*, ficando disponíveis para consulta num computador ou telemóvel.

De salientar que se executam as leituras do pH e CE na drenagem do sistema, ou seja, na saída do tabuleiro por forma a comparar com os valores registados na entrada os quais são registados pelo sistema de rega da exploração. Desta forma, temos os caudais de água da entrada e da saída assim como as variações de pH e CE.



Figura 27: Unidade de controlo do equipamento. Sensores de temperatura e humidade (acima).



Figura 28: Bandeja de inox e respetivas plantas em substrato.



Figura 29: Conjunto dos sensores do equipamento (1- sonda RESIPREL PT-100; 2- sonda PH HI1001; 3- sonda EC HI3002; 4- pluviômetro de báscula PM1; 5- sonda DHT22; 6- célula de carga RSC-1)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este ensaio incidiu sobre a fase de concepção e implementação de um sistema de monitorização em tempo real para a cultura do tomate em hidroponia e ambiente climatizado. Esta etapa, ainda que não apresente resultados em termos numéricos, foi muito importante para realizar todas as calibrações e melhorias necessárias para a obtenção de dados com carácter fidedigno e relevância técnico-científica.

O processo de montagem do equipamento obrigou a uma abordagem recursiva, de forma a eliminar as dificuldades que surgiam e melhorar o desempenho do equipamento. Neste tipo de equipamento a precisão e a calibração dos sensores é um fator primordial. Uma das primeiras dificuldades técnicas foi a integração entre a sonda de pH e a placa principal. Apesar da compatibilidade entre os componentes, o equipamento não conseguia ler os valores da sonda com toda a sua resolução, mas sim, com menos dois bits. Isto significa que o intervalo entre o valor mínimo e máximo de leitura da sonda estava a ser transmitido numa escala que tem menos intervalos e, por isso, menos resolução. Este tipo de anomalia não inviabiliza a sua utilização, mas reduz a sua precisão. A questão foi contornada substituindo a sonda por outra com nova versão de *Firmware*, ou seja, o mesmo equipamento, mas com diferente software interno.

Por outro lado, foram encontrados também desafios funcionais, por exemplo, as células de carga que sustentam e pesam a parte aérea das plantas estavam idealizadas para suportar um ramo por célula. No entanto, a forma de condução adotada nesta cultura é de três braços por planta, significando que de cada planta saem três hastes. Este método de condução da cultura colocou então um problema relacionado com a fixação das hastes pois as células de carga apenas apresentavam um ponto de suporte, o que iria diminuir a distância entre hastes, causando maior ensombramento e enviesando os resultados do estudo. Assim, por forma a obter resultados fidedignos e adequados à realidade, foi necessário contruir uma estrutura piramidal que é suportada pela célula de carga vertical, suportando ela própria em cada um dos seus vértices cada uma das hastes da planta.

As melhorias alcançadas após a calibração de todos os componentes e as afinações realizadas nesta fase contribuíram para que o equipamento possa ser utilizado no novo ciclo de monitorização, que já se encontra a decorrer. Os sensores utilizados são adquiridos já calibrados na fábrica, no entanto, foram calibrados de acordo com as indicações dos fabricantes no momento da montagem. Dada a relevância deste assunto para a precisão dos resultados obtidos, está prevista uma ação de manutenção preventiva aos sensores (limpeza e calibração) antes do início da próxima campanha, em data a definir. Neste momento tentaremos cruzar os dados encontrados com leituras de outras sondas e com análises laboratoriais (para o caso do pH e CE). Só assim, será possível consolidar os dados sobre a variação encontrada durante o período de funcionamento decorrido, isto em ambiente de produção. Os testes à consulta em tempo real dos valores lidos pelos equipamentos, via interface gráfica (Figura 6), decorreram sem problemas, tendo-se obtido uma solução que funciona em qualquer dispositivo com *browser*.

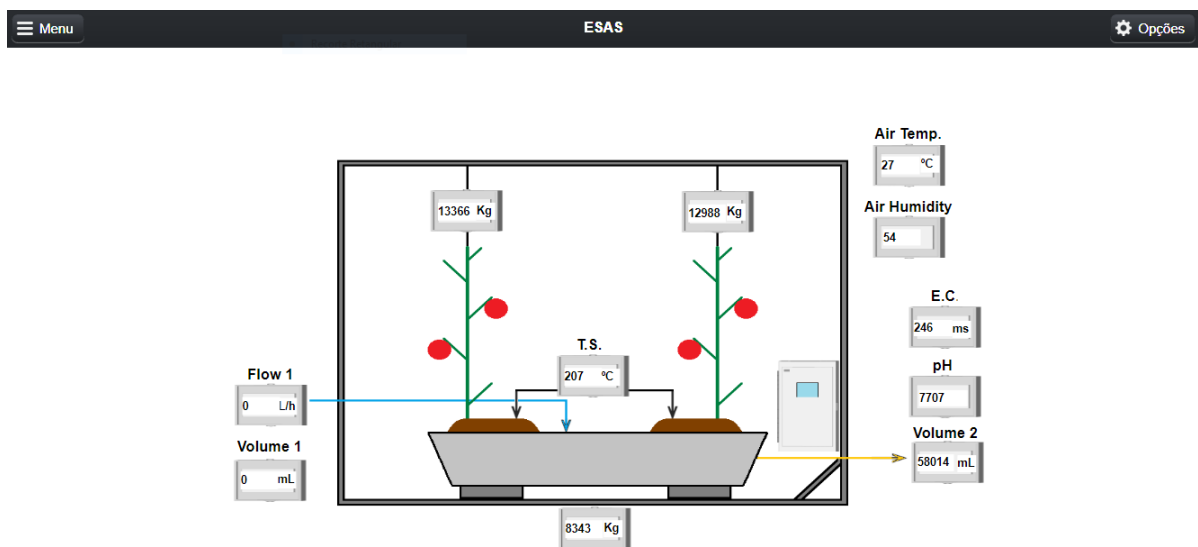


Figura 30: Interface gráfica e respetivos dados em tempo real.

Em simultâneo, os dados são registados a cada 30 segundos e podem ser consultados por intervalo de data ou parâmetro específico (Figura 7), permitindo ainda a sua exportação para folha de cálculo para que os mesmos sejam trabalhados em *software* externo.

ESAS								
Data	Evento	Flow_L_H_1	Flow_L_H_2	TemperaturePT100	Temperature	Humidade	pH	Condutividade
03/09/2020 11:58:00	Tempo	0	58014	211	26	57	7698	248
03/09/2020 11:57:30	Tempo	0	58014	211	26	59	7701	246
03/09/2020 11:57:00	Tempo	0	58014	210	26	58	7705	243
03/09/2020 11:56:30	Tempo	0	58014	210	26	58	7707	246
03/09/2020 11:56:00	Tempo	0	58014	210	26	57	7703	244
03/09/2020 11:55:30	Tempo	0	58014	210	26	57	7703	246
03/09/2020 11:55:00	Tempo	0	58014	210	26	58	7692	246
03/09/2020 11:54:30	Tempo	0	58014	209	26	56	7700	247
03/09/2020 11:54:00	Tempo	0	58014	209	26	56	7705	243
03/09/2020 11:53:30	Tempo	0	58014	209	26	58	7698	244
03/09/2020 11:53:00	Tempo	0	58014	209	27	54	7700	246
03/09/2020 11:52:30	Tempo	0	58014	209	27	58	7703	242
03/09/2020 11:52:00	Tempo	0	58014	209	27	56	7698	248
03/09/2020 11:51:30	Tempo	0	58014	208	27	56	7705	247
03/09/2020 11:51:00	Tempo	0	58014	208	27	56	7705	246
03/09/2020 11:50:30	Tempo	0	58014	208	27	56	7703	246
03/09/2020 11:50:00	Tempo	0	58014	208	27	55	7705	247
03/09/2020 11:49:30	Tempo	0	58014	208	27	55	7698	248
03/09/2020 11:49:00	Tempo	0	58014	208	27	54	7701	250
03/09/2020 11:48:30	Tempo	0	58014	208	27	53	7707	247
03/09/2020 11:48:00	Tempo	0	58014	208	27	54	7707	246
03/09/2020 11:47:30	Tempo	0	58014	207	27	53	7707	247
03/09/2020 11:47:00	Tempo	0	58014	208	27	56	7707	250
03/09/2020 11:46:30	Tempo	0	58014	207	27	54	7700	246
03/09/2020 11:46:00	Tempo	0	58014	207	27	55	7705	244
03/09/2020 11:45:30	Tempo	0	58014	207	27	54	7703	246
03/09/2020 11:45:00	Tempo	0	58014	207	27	55	7703	243
03/09/2020 11:44:30	Tempo	0	58014	207	27	54	7707	246
03/09/2020 11:44:00	Tempo	0	58014	207	27	50	7705	246

1 - 26 de 1,437

Figura 31: Histórico de dados.

Fazendo uma análise abrangente sobre o panorama global da implementação deste tipo de tecnologias tanto no setor agrícola como na indústria alimentar, vemos que existe uma acelerada vaga de fundo que em simultâneo tenta inovar na capacidade dos sensores por forma a registar, de forma automática e precisa, novos dados que até agora requeriam análises laboratoriais ou morosos processos de trabalho humano, como reutilizar tecnologia já comprovada para atingir novos resultados de forma económica e prática. São inúmeras as publicações académicas nesta área, refere-se o trabalho realizado na Indonésia com o objetivo de automatizar a gestão de explorações em modo hidropónico NFT de forma económica, utilizando hardware e software de fonte aberta (Crisnapati, Wardana, Aryanto & Hermawan, 2017) e a revisão sistemática sobre a integração de IOT e Arduino para avaliação da qualidade do leite realizada no Brasil (Comachio & Bortolotti, 2020).

Alterando o foco para a especificidade da atividade agrícola, e em particular com recurso a estufa, é necessário referir que esta se encontra com um nível de desenvolvimento da componente de monitorização e otimização menos evoluído e que se espera um forte crescimento nesta área nos próximos anos, através do surgimento de novos produtos e serviços.

4. CONCLUSÃO

Os sistemas de cultivo sem solo são bastante exigentes a nível técnico-científico, bem como, a nível económico, o que leva a que a sua adoção esteja dependente da produção e rentabilidade das culturas. O tomate, pela sua importância e elevada produção, justifica o investimento no incremento das técnicas de produção. A nível nacional, a cultura apresenta grande expressão na região Oeste, no entanto, a competitividade espanhola é uma ameaça, exigindo da parte dos produtores a máxima eficiência, em especial na gestão dos *inputs* da cultura. Nesse sentido, o equipamento de monitorização contínua e transmissão de dados em tempo real são uma mais-valia para os produtores e apresentam vantagens de longo prazo para a produção protegida. O equipamento concebido e proposto neste estudo, permitiu definir as variáveis agronómicas para a monitorização em tempo real, selecionar os sensores, adaptar sensores face às incompatibilidades detetadas e compreender a complexidade da integração dos componentes e interfaces no equipamento. Futuramente, será essencial proceder à validação dos resultados e evoluir para uma análise que permita relacionar os dados e extrair informação relevante para os produtores que utilizam sistemas

de hidroponia. Em particular, a fundamentação da variação de massa da planta em função dos elementos consumidos em correlação com os restantes dados ambientais recolhidos.

5. AGRADECIMENTOS

O projeto TomatInov PDR2020-101-032136 é financiado pelo PDR2020 e cofinanciado pelo FEADER no âmbito da Operação - 1.0.1 Grupos Operacionais. FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto UID/AGR/04129/2020 (LEAF).

6. REFERÊNCIAS

- Alarcón, A. (2000). *Tecnologia para cultivos de alto rendimiento*. (1ª Ed.). Múrcia: Novedades Agrícolas.
- Almeida, D.P. (2006). *Manual das Culturas Hortícolas - Volume II*. (2ª Ed.) Editorial Presença, 400 pp.
- Almeida, D.P., Reis, M. (2017). *Engenharia Hortícola*. Porto: Publindústria – Agrobook, 237 pp.
- Brasenco, F., Asgedom, D., Casari, G. (2019). *Strategic analysis and intervention plan for fresh and industrial tomato in the Agro-Commodities Procurement Zone of the pilot Integrated Agro-Industrial Park in Central-Eastern Oromia, Ethiopia*. Addis Ababa.
- Comachio, K.O., Bortolotti, S.L.V. (2020). Integração da IOTe arduino para avaliação da qualidade do leite: uma revisão sistemática. In Brazilian Journal of Development (2020).
- Costa, J.M., Heuvelink, E. (2005). *Introduction: the tomato crop and industry*. In Heuvelink, E., *Tomatoes*. Cambridge: CABI publishing.
- Crisnapati, P.N., Wardana, N.K., Aryanto, K.A.A, Hermawan, A. (2017). Hydroponic management and monitoring system for an IOT based NFT farm using web technology. In 2017 5th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM).
- Dam, B.V., Goffau, M., Hilmi M., Jeude, J., Naika, S. (2006). *A cultura do tomate: produção, processamento e comercialização*. Wageningen: Fundação Agromisa e CTA, 104 pp.
- De Wrachien, D., Goli, M.B. (2015). *Global Warming Effects on Irrigation Development and Crop Production: A World-Wide View*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/281064910_Global_Warming_Effects_on_Irrigation_Development_and_Crop_Production_A_World-Wide_View.
- Gavilán, M.U. (2004). *Tratado de Cultivo Sin Suelo*. (3ª Ed.). Mundi-Prensa, 914 pp.
- Instituto Nacional de Estatística (2019). *Estatísticas agrícolas 2018*. Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P.
- Jones Jr., J.B. (2005). *Hydroponics: A practical guide for the soilless grower*. (2ª Ed.). CRC Press, 440pp.
- Jones Jr., J.B. (2007). *Tomato plant culture in the field, greenhouse, and home garden*. (2ª Ed.). CRC Press, 420 pp.
- Louro, M., Reis, M. (2020). *Manual de cultivo sem solo. Aspectos teóricos e práticos dos cultivos hidropónicos e em substrato*. Quântica Editora, 458 pp.
- Miranda, C.S., Henriques, S., Rodrigues, L., Rodrigues, A.S., Monteiro, A.A., Caço, J., Reis, M., Antunes, L.E. (2004). *Manual de Culturas Hortícolas Sem Solo*. Associação Interprofissional de Horticultura do Oeste (AIHO), 152 pp.
- Mota, P.M.P. (2007). *Acompanhamento da cultura do tomate em substrato de lã de rocha*. Relatório de Projeto do Curso de Engenharia dos Sistemas Agrícolas e Ambientais. Beja: Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Beja, 82 pp.

- Mourão, I., Brito, L.M, Moura, M.L., Rodrigues, R., (2013). *Avaliação da produtividade e qualidade de tomate produzido no solo e em hidroponia na região Noroeste de Portugal.*
- Rosa-Rodríguez, R., Lara-Herrera, A., Trejo-Téllez, L., Padilla-Bernal, L., Solis-Sánchez, L., Ortiz-Rodríguez, J. (2020). *Water and fertilizers use efficiency in two hydroponic systems for tomato production.* Recuperado de: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362020000100047&lang=pt#B4
- World Health Organization (2019). *Drinking water.* Recuperado de: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water.](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water)