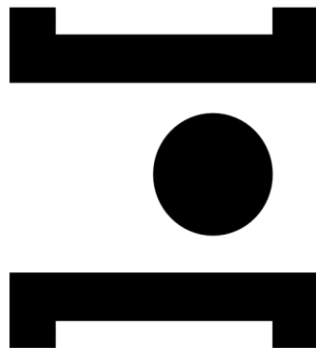


INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior Agrária de Santarém



**POLITÉCNICO
DE SANTARÉM**

**ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE NO TOMATE DE INDÚSTRIA.
Aplicação à variedade UG 16112 na região da Lezíria Tejo, em
condições de cultura comercial.**

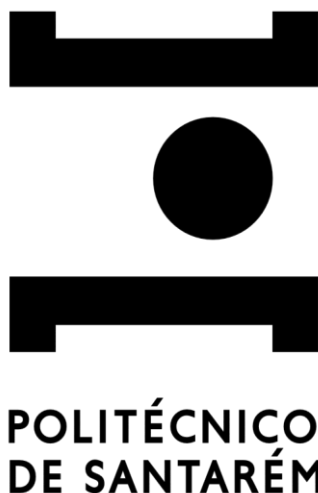
Dissertação
Mestrado em Engenharia Agronómica

Tiago Miguel Cação Caetano

Orientação:
Artur José Guerra Amaral

Outubro, 2025

INSTITUTO POLITÉCNICO DE SANTARÉM
Escola Superior Agrária de Santarém



ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE NO TOMATE DE INDÚSTRIA.
Aplicação à variedade UG 16112 na região da Lezíria Tejo, em
condições de cultura comercial.

Trabalho com vista à obtenção do
grau de mestre em Engenharia Agronómica

Tiago Miguel Cação Caetano
N.º 140330047

Orientador interno: Professor Artur José Guerra Amaral

Outubro, 2025

Agradecimentos

Chegar a este momento é a concretização de um percurso desafiante, cheio de aprendizagens, esforço e dedicação. No entanto, nada disto teria sido possível sem o apoio de muitas pessoas e instituições, às quais expresso a minha sincera gratidão.

Em primeiro lugar, quero agradecer ao meu orientador, Professor Artur José Guerra Amaral, pelo acompanhamento, paciência e orientação ao longo deste trabalho. A sua disponibilidade e partilha de conhecimento foram fundamentais para que esta dissertação tomasse forma.

Agradeço ao Instituto Politécnico de Santarém e em especial à Escola Superior Agrária de Santarém por me proporcionar a oportunidade de desenvolver este estudo num ambiente académico de excelência.

Um agradecimento especial às empresas que tornaram possível a realização deste ensaio em condições reais: *Kagome Agri-business Research and Development Center*, *DXAS Agricultural Technology*, NEC Portugal - Telecomunicações e Sistemas S.A. e Sociedade Agrícola Herdade do Caldas - Unipessoal Lda., na pessoa do Sr. João Geada, pela disponibilidade, apoio e partilha de conhecimento.

Aos meus colegas de trabalho, João Ferreira e Nuno Santos, que sempre estiveram prontos a ajudar e a discutir ideias, deixando este caminho mais leve e enriquecedor.

À minha família, amigos e namorada, que sempre acreditaram em mim, mesmo nos momentos de maior incerteza, e que foram o meu pilar ao longo deste percurso. Obrigado pelo apoio incondicional, pelas palavras de incentivo e por estarem sempre ao meu lado.

A todos os que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse possível, o meu sincero obrigado.

Abreviaturas

BAS - Biomassa Acima do Solo

BBCH - Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie

CROPGRO - Modelo de simulação de crescimento de culturas

CSM - Crop System Model

CTC – Capacidade de Troca Catiónica

DAP - Dias Após Plantação

DSSAT - Decision Support System for Agrotechnology Transfer

EFS - Extended Field Storage

ETo - Evapotranspiração de Referência

ETc - Evapotranspiração Cultural

EVI - Enhanced Vegetation Index

FAO - Food and Agriculture Organization

GDD – Growing Degree Days

GNDVI - Green Normalized Difference Vegetation Index

GPRS - General Packet Radio Service

GPP - Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral

IA – Inteligência Artificial

IAF - Índice de Área Foliar

IC - Índice de colheita

K₂O - Óxido de potássio

Kc - Coeficiente Cultural

LAI - Leaf Area Index

N₂ - Azoto molecular (forma gasosa)

N - Azoto (nutriente)

NDVI - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR - Luz refletida na faixa infravermelha

OOP - Programação Orientada a Objetos (*Object-Oriented Programming*)

P₂O₅ - Pentóxido de fósforo

RED - Luz refletida na faixa vermelha

RRMSE - Relative Root Mean Squared Error

SAVI - Soil-Adjusted Vegetation Index

SIM - Subscriber Identity Module

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

t₁ – Tempo 1

t₂ – Tempo 2

T_b – Temperatura basal

TCA – Taxa de Crescimento Absoluta

T_{max} – Temperatura Máxima

T_{min} – Temperatura Mínima

TSS – Teor de Sólidos Solúveis

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

UE – União Europeia

UG – United Genetics

USDA – United States Department of Agriculture

Resumo

O cultivo de tomate para a indústria é uma atividade de grande relevância na agricultura nacional, particularmente na região da Lezíria Tejo. Este estudo teve como objetivo estimar a produtividade da variedade UG16112 em condições comerciais, num campo localizado na Lezíria de Vila Franca de Xira, em solo argilo-limoso. O ensaio foi conduzido numa parcela com cerca de 3 ha, tendo sido efetuadas colheitas destrutivas numa primeira fase de 8 em 8 dias e, posteriormente, de 15 em 15 dias. Em cada data, as plantas foram colhidas aleatoriamente e separadas por órgãos (folhas, caules, inflorescências e frutos), sendo os tecidos pesados em verde e posteriormente secos em estufa, para determinação da matéria seca.

Foram monitorizadas as fases de desenvolvimento da cultura segundo a escala fenológica BBCH e efetuado o cálculo de graus-dia ao longo do ciclo cultural. O crescimento da biomassa total por planta foi modelado por uma função logística, ajustada com elevada precisão ($R^2 = 0,996$), apresentando um valor máximo de 469,8 g/planta. A conversão para hectare permitiu estimar uma produção de matéria seca total de 10 467 kg/ha, sendo a produtividade estimada de 158 t/ha, obtida aos 114 dias após a plantação (DAP).

Foi avaliado o índice de vegetação NDVI, obtido pela plataforma “CropScope”, tendo-se registado uma correlação significativa com a produtividade. O valor máximo de NDVI foi de 0,81, observado aos 77 DAP (28 de julho), coincidindo com o máximo do índice de área foliar. Estes resultados demonstram o potencial do uso de imagens remotas na estimativa da produtividade antes da colheita e contribuem para o desenvolvimento de ferramentas de monitorização e apoio à decisão na cultura do tomate de indústria.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum* Mill, Desenvolvimento, Crescimento, NDVI, CROPGRO, Previsão de rendimento.

Abstract

Tomato cultivation for industrial processing represents an activity of great relevance in national agriculture, particularly in the Lezíria do Tejo region. This study aimed to estimate the productivity of the UG16112 variety under commercial conditions, in a field located in Lezíria de Vila Franca de Xira, on clay-loam soil. The trial was conducted in a plot of approximately 3 ha, with destructive samplings initially performed every 8 days and later every 15 days. On each date, plants were randomly collected and separated into organs (leaves, stems, inflorescences, and fruits), with tissues weighed fresh and then oven-dried to determine dry matter content.

The crop development stages were monitored according to the BBCH scale, and the calculation of growing degree days (GDD) was performed throughout the crop cycle. The total dry biomass per plant was modelled using a logistic function, adjusted with high accuracy ($R^2 = 0.996$), reaching a maximum of 469.8 g per plant. Conversion to a hectare basis allowed the estimation of a total dry matter production of 10,467 kg/ha, with an estimated yield of 158 t/ha obtained 114 days after planting (DAP).

The NDVI vegetation index, obtained from the “CropScope” platform, was also evaluated, showing a significant correlation with productivity. The maximum NDVI value (0.81) was observed at 77 DAP (28 July), coinciding with the maximum leaf area index. These results demonstrate the potential of using remote sensing tools in estimating pre-harvest productivity and contribute to the development of monitoring and decision-support systems for industrial tomato cultivation.

Key-words: *Lycopersicon esculentum Mill.*, NDVI, CROPGRO, Growth modelling, Yield estimation.

Índice

1.	Introdução.....	1
2.	Revisão bibliográfica.....	3
2.1	– Importância económica do tomate para indústria	3
2.2	Modelos de apoio à tomada de decisão	4
2.2.1	Modelos de simulação cultural.....	4
2.2.2	Objetivos e vantagens da utilização dos modelos de simulação cultural	4
2.2.3	Calibração e validação	5
2.2.4	Utilização dos modelos de simulação cultural na estimativa do desenvolvimento e produtividade	6
2.3	O modelo CROPGRO	6
2.3.1	Calibração do modelo CROPGRO.....	7
2.3.2	Parâmetros do modelo CROPGRO	8
2.3.3	Validação do modelo CROPGRO.....	8
2.3.4	Utilização agronómica do modelo CROPGRO.....	8
2.4	CropScope: descrição da plataforma e evolução da mesma	9
2.5	Índice NDVI	10
2.6	Desenvolvimento e escala numérica BBCH	10
2.7	Modelo fenológico de graus-dias.....	11
2.7.1	Método de cálculo dos graus dia	12
2.7.2	Temperatura base do tomate.....	13
3.	Material e métodos	14
3.1	Localização	14
3.2	Caracterização físico-química do solo	14
3.3	Caracterização climática	17
3.4	Delineamento experimental	20

3.5	Análise de desenvolvimento e crescimento	21
3.5.1	Quantificação da matéria seca através de colheita destrutiva de 8 plantas	21
3.5.2	Escala BBCH.....	22
3.6	Caracterização da variedade.....	22
3.7	Itinerário cultural.....	23
3.7.1	Preparação do solo e operações culturais	23
3.7.2	Fertilização de fundo e fertirrigação.....	24
3.7.3	Plantação	24
3.7.4	Tratamentos fitossanitários.....	25
3.7.5	Rega.....	25
3.7.6	Colheita e testes qualidade tomate.....	29
3.8	Índices de vegetação.....	30
3.9	Análise e tratamento de dados	31
4.	Apresentação de resultados e discussão.....	32
4.1	Avaliação das fases de desenvolvimento	32
4.2	Evolução do peso seco total da cultura	32
4.3	Taxas de crescimento da cultura	35
4.3.1	Taxa de crescimento médio absoluta	35
4.3.2	Taxa de crescimento médio relativo	37
4.4	Repartição do peso seco da planta e índice de colheita (caules, folhas e frutos) ..	38
4.5	Evolução do NDVI e relação com o desenvolvimento vegetativo	40
4.6	Ajuste de modelo logístico ao crescimento em peso seco	43
4.7	Concentração da maturação e produtividade	45
5.	Conclusões.....	48
5.1	Notas conclusivas	48
5.2	Perspetivas para futuros trabalhos	50

6. Referências bibliográficas.....	51
7. Anexos	I

Lista de Figuras

Figura 1 - Produção de tomate (t) em Itália, Espanha, Federação Russa, Ucrânia e Portugal no período 2020–2022. Dados provenientes do FAOSTAT (FAO, 2024). Consultado em dezembro de 2022.....	3
Figura 2 - Imagem ilustrativa das fases da escala de BBCH para a cultura do Tomate de Indústria. Fonte: EOS Data Analytics.....	11
Figura 3 - Localização da parcela experimental, do setor de análise e respetivos pontos de colheita de plantas, no campo Bico da Caneja, em Vila Franca de Xira. (Fonte: Google Earth, 2023).	14
Figura 4 - Exemplificação do método utilizado para colheita das amostras de solo.....	15
Figura 5 - Comparação entre as médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas em 2023 com a normal climatológica no distrito de Santarém entre 1981-2010. Fonte: IPMA e CropScope.....	18
Figura 6 - Comparação da precipitação mensal acumulada em milímetros entre abril e agosto de 2023 com a normal registada pela estação de Vila Franca de Xira (Lezíria) entre 1981-2022. Fonte: SNIRH.....	19
Figura 7 - Termopluviograma que contempla os dados da estação meteorológica entre as datas de plantação e colheita da parcela agrícola.	19
Figura 8 - Pontos de colheita de plantas, no campo Bico da Caneja, em Vila Franca de Xira. (Fonte: Google Earth, 2023).....	21
Figura 9 - Tabela de orientação para a colheita aleatória de plantas.....	21
Figura 10 - Variedade UG 16112 a campo.	23
Figura 11 - Fotografia da transplantadora em ação.	24
Figura 12 - Evolução dos valores diários dos valores de ETo registados entre 12 de abril e 10 de agosto.....	26
Figura 13 – Evolução dos valores de humidade do solo à profundidade de 10cm, 20cm, 30cm, 40cm e 50cm recolhidos por uma sonda capacitativa da marca Dacom no período de 12 de abril a 12 de agosto 2023.	27
Figura 14 - Evolução da humidade do solo acumulada recolhida por uma sonda capacitativa da marca Dacom no período de 12 de abril a 12 de agosto 2023.	28

Figura 15 - Registos de rega diários em metros cúbicos por hectare recolhidos do programador Agronic no período de 12 de abril a 12 de agosto de 2023.	29
Figura 16 - Evolução do peso seco médio total das plantas colhidas ao longo do ciclo de crescimento, em função dos dias após a plantação (DAP), em gramas por planta, no período de 2 de maio a 1 de agosto.....	33
Figura 17 - Taxa de Crescimento Absoluto (TCA), em gramas por dia, em diferentes fases fenológicas da cultura do tomate, de acordo com a escala BBCH, e a Evolução Média do Peso Seco em gramas ao longo do ciclo.	36
Figura 18 - Relação entre a Taxa de Crescimento Relativo (TCR), em gramas por grama por dia (g/g/dia), e a Evolução Média do Peso Seco, em gramas por planta (g/Planta), ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura do tomateiro, de acordo com a escala BBCH.....	38
Figura 19 - Repartição do peso seco da planta (g/Plt) ao longo do ciclo de desenvolvimento, entre folhas, caule, flores e frutos, em diferentes datas de observação.	39
Figura 20 - Evolução do Índice de Colheita (IC) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do tomate.....	39
Figura 21 - Comparação entre o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o Peso Seco Total, em gramas por planta (gMS/Planta), ao longo dos dias após a plantação (DAP).	40
Figura 22 - Evolução dos valores de NDVI da parcela experimental, registados no período de 14 de abril a 10 de agosto 2023.....	41
Figura 23 - Relação entre o Índice de Área Foliar (IAF) estimado e o NDVI para a cultura.	42
Figura 24 - Ajuste do modelo logístico à evolução da biomassa total da planta. O eixo X representa os DAP (DAP) e o eixo Y corresponde à Massa Seca Total (g/planta). Os pontos azuis representam os valores observados e a linha vermelha representa a curva ajustada. A área sombreada corresponde ao intervalo de confiança.	44
Figura 25 - Distribuição percentual dos frutos de tomate por classe de maturação (verdes, laranjas e vermelhos) em 12 de julho e 4 de agosto.	45
Figura 26 - Produtividade potencial em toneladas por hectare (t/ha) nas datas de 12 de julho e 4 de agosto. As barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% para cada data. ...	46

Lista de quadros

Quadro 1 - Análise granulométrica de base textural das amostras recolhidas a 17 de março 2023 em diferentes profundidades (0-15cm, 15-30cm e 30-45cm).	15
Quadro 2 - Análise sumária de pH, Matéria orgânica (%), Fósforo assimilável (mg.kg-1), Potássio assimilável (mg.kg-1), Calcário total (%), Azoto nítrico (mg.kg-1) e Azoto total (%) das amostras recolhidas a 17 de março 2023 às profundidades de 0-15cm, 15-30cm e 30-45cm.	16
Quadro 3 - Valores das Bases de troca (cmol/kg), Acidez titulável (cmol/kg), Capacidade de Troca Catiónica (cmol/kg) e Condutividade (dSm-1) das amostras recolhidas a 17 de março 2023 em diferentes profundidades (0-15cm, 15-30cm e 30-45cm).	17
Quadro 4 - Data, Dias Após Plantação (DAP), semana do ano e tipo de operações de preparação do solo.	23
Quadro 5 - Resumo das aplicações de fertilizante pré transplantação.	24
Quadro 6 - Fases fenológicas do tomate UG16112 monitorizadas com a escala BBCH, apresentando os dias após o transplante (DAP), intervalos de datas, graus-dia acumulados e critérios observacionais para cada fase de desenvolvimento, desde o crescimento vegetativo.	32
Quadro 7 - Fases fenológicas (BBCH), datas de observação, integral térmico acumulado (°C·dia) e respetivo peso seco médio (g/planta) das plantas de tomate de indústria, no período de 2 de maio a 12 de agosto.	34
Quadro 8 - Taxa de Crescimento Média Absoluta em gramas por dia por Intervalo Temporal.	35
Quadro 9 - Taxa de Crescimento Médio Relativo (g/gdia) por Intervalo Temporal.	37
Quadro 10 - Valores do Índice de Área Foliar (IAF) estimados ao longo do ciclo da cultura, em diferentes momentos de colheita, de acordo com os dias após a plantação (DAP).	41
Quadro 11 - Evolução da percentagem de frutos ao longo do tempo, categorizados por estados de maturação: frutos verdes, laranjas e vermelhos (maduros).	45
Quadro 12 - Número de frutos, peso total dos frutos (g) e peso médio por fruto (g/fruto) em duas datas distintas: 12 de julho e 4 de agosto.	47

Lista de anexos

Anexo 7. 1 - Quadro resumo dos tratamentos de herbicida realizados na parcela agrícola no período entre 29 de abril a 26 de maio de 2023. I

Anexo 7. 2 - Quadro resumo dos tratamentos de fungicida realizados na parcela agrícola no período entre 21 de maio a 18 de julho de 2023. I

Anexo 7. 3 - Quadro resumo dos tratamentos de inseticida realizados na parcela agrícola no período entre 21 de maio a 18 de julho de 2023. I

Anexo 7. 4 - Quadro resumo das aplicações diárias de adubo líquido, entre 24 de abril e 16 de julho.III

1. Introdução

O sector português de transformação do tomate inclui um número bastante reduzido de empresas. Na época de 2020 operaram oito empresas. Dois operadores - Sugal (o líder) e a Itlagro - partilham um pouco menos de dois terços da atividade, ou seja, um pouco mais de 920 000 t, em média, nas últimas cinco temporadas (Tomato News, 2020). Portugal, produz e transforma mais de um milhão de toneladas de tomate, num período de aproximadamente 60 dias. Cerca de dois terços são operacionalizados pelas duas empresas referidas, o que implica um elevado planeamento e organização ao nível da plantação, colheita dos campos, transporte do tomate para as fábricas, descarga e futura transformação do tomate nas unidades de processamento. A estimativa da produtividade ao nível da parcela do produtor, constitui uma mais-valia na tomada de decisão, especialmente, como ferramenta na melhoria da organização e calendarização das colheitas, do transporte para as unidades de transformação e uma melhor operacionalização na fábrica. Por outro lado, a estimativa antecipada da quantidade e qualidade de tomate a processar constitui uma informação muito importante na elaboração e planeamento da comercialização do mesmo, em termos de mercado.

A previsão da produtividade do tomate, com base em modelos de simulação cultural e na análise de índices obtidos através de imagens multiespectrais, tem vindo a ganhar destaque como uma ferramenta valiosa na gestão agrícola e no planeamento da colheita. A utilização de imagens captadas por UAV permite acompanhar o desenvolvimento da cultura e prever, com uma margem de erro reduzida, parâmetros como biomassa, número de frutos e produção por planta. Estudos indicam que estas estimativas podem ser feitas com várias semanas de antecedência, permitindo uma melhor organização da colheita e uma gestão mais eficiente dos recursos disponíveis (Johansen et al., 2019). Os mapas de previsão são de grande importância pois estes asseguram que a produtividade seja maximizada, com menos fatores intermédios de produção, menos desperdício e, conseqüentemente, menos impacto ambiental e maior eficiência. Uma estimativa precisa do rendimento pode ser utilizada para a gestão zonal das áreas mais produtivas, para planear o melhor momento da colheita e o seu transporte para processamento industrial e para localizar quaisquer deficiências hídricas e nutricionais no campo (Aggelopoulou et al., 2010). A monitorização e o mapeamento da produtividade deram aos produtores um método direto para medir a variabilidade espacial da produtividade (Lark & Stafford, 2015).

Para desenvolver um modelo de apoio à decisão, são necessários vários dados relativos ao solo e às plantas por amostragem manual, por deteção remota, ou usando sensores de contacto com

base no solo. A deteção remota através de sensores aéreos ou imagens de satélite da cultura são muito úteis na recolha de grandes quantidades de dados, num curto período (Koller & Upadhyaya, 2005). Os desenvolvimentos na utilização de sensores permitiram uma amostragem maciça de dados georreferenciados e numerosos estudos investigaram a correlação entre as características da vegetação e a refletância do coberto vegetal detetada remotamente (Xue et al., 2004; Jongschaap, 2006).

Os modelos de simulação cultural e estimativa da produtividade constituem ferramentas de apoio à tomada de decisão. No caso da cultura do tomate de indústria estes modelos podem ser utilizados pelo produtor, na condução agronómica da cultura ao nível da parcela e/ou pelas organizações de produtores e unidades de processamento no planeamento da logística das plantações, colheita, transporte e volume de tomate a processar na unidade fabril. Ao nível da parcela, o produtor poderá utilizar estes modelos para tomar decisões seja ao nível da escolha das variedades, aplicação dos fertilizantes, condução da rega, posicionamento dos tratamentos preventivos dos fungicidas e data de colheita, em função de um conjunto de variáveis, nomeadamente de natureza climática.

Existem disponíveis um conjunto de modelos que simulam o desenvolvimento e a produtividade final da cultura em função de um conjunto de variáveis. Contudo, a sua utilização prática está muito dependente de um trabalho de validação com dados recolhidos ao nível da parcela e da região para o qual se irão utilizar.

Com este trabalho pretende-se:

1. Obter um conjunto de dados relativos ao desenvolvimento e crescimento da cultura do tomate de indústria, variedade UG16112, recolhidos a partir de plantas instaladas em condições reais de cultivo na Lezíria Tejo;
2. Definir a curva de crescimento da cultura e avaliar o integral térmico das principais fases de desenvolvimento da cultura;
3. Validar um modelo de simulação cultural para a cultura de tomate de indústria que permita estimar o desenvolvimento e a produtividade ao nível da parcela;
4. Validar um conjunto de índices de vegetação obtidos por recolha de imagens obtidas a partir da plataforma “CropScope” que permite estimar com maior precisão a produtividade, nos momentos anteriores à colheita, ao nível da parcela.

2. Revisão bibliográfica

2.1 – Importância económica do tomate para indústria

O tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) é a segunda cultura vegetal mais importante logo a seguir da batata. A produção mundial atual é de cerca de 100 milhões de toneladas obtidas em 3,7 milhões de hectares (FAO, n.d., com base em FAOSTAT, 2001).

O tomate de indústria é a cultura horto-industrial que detém maior importância económica em Portugal, sendo exportado cerca de 95% do concentrado produzido (Moura, 2013) O nosso país tem condições extremamente favoráveis para a produção de tomate, sendo o 16.º maior produtor mundial e o 5.º a nível europeu (Figura 1) durante o triénio 2020-2022 (FAO, 2024).

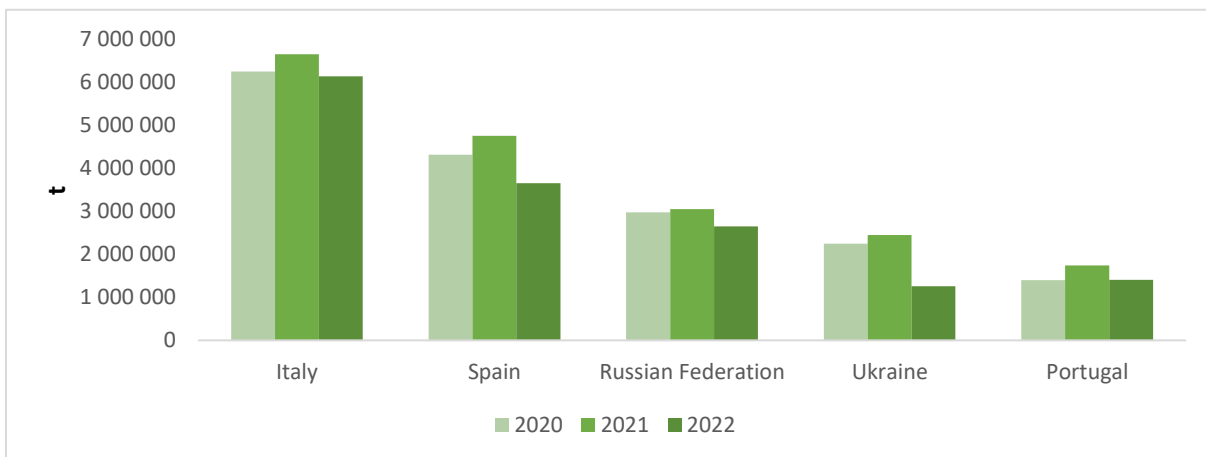


Figura 1 - Produção de tomate (t) em Itália, Espanha, Federação Russa, Ucrânia e Portugal no período 2020–2022. Dados provenientes do FAOSTAT (FAO, 2024). Consultado em dezembro de 2022.

Na região da Lezíria Tejo a cultura do tomate para indústria é instalada ao ar livre, iniciando-se a sua instalação por volta dos meses de março/abril e a colheita em meados do mês de julho, prolongando-se até ao final do mês de setembro (AGROMAIS, s.d).

Portugal, produz em média cerca de 1 200 000 toneladas de tomate para a indústria, tendo ao longo das últimas décadas, registado progressos relevantes na produtividade, atingindo neste domínio médias superiores à média da UE (GPP, 2013). Em 2025, a quantidade contratada foi de cerca de 1 437 265 toneladas e cerca de 15 000 hectares (IFAP, 2025).

2.2 Modelos de apoio à tomada de decisão

2.2.1 Modelos de simulação cultural

A criação e a utilização de modelos de simulação cultural, integrando modelos de desenvolvimento e crescimento têm mais de 40 anos (Sinclair & Seligman, 1996; Matthews & Stephens, 2002).

Os modelos de simulação de culturas envolvem a utilização de algoritmos para simular o crescimento e o desenvolvimento das culturas, criando programas de computador que imitam o comportamento real das culturas. Estes modelos preveem o crescimento das culturas através da simulação do desenvolvimento de folhas, raízes, caules e grãos, fornecendo informações sobre os processos de produção e crescimento das culturas ao nível dos tecidos e dos órgãos (Oteng-Darko et al., 2013).

Os sistemas de modelação das culturas ajudam a compreender os sistemas agrícolas, incluindo o fluxo de água no solo, o controlo dos estomas e o movimento dos fertilizantes. Os modelos avaliam as potenciais alterações no sistema, evitando testes de campo dispendiosos e demorados. Os modelos comprovados são usados para avaliar tratamentos e antecipar os resultados desses tratamentos (Whisler et al., 1986).

Os modelos de simulação de culturas dividem-se em dois grupos principais: os que permitem compreender melhor a fisiologia das culturas e a dinâmica ambiental e os que fornecem conselhos práticos de gestão aos agricultores ou previsões sobre as políticas. Estes objetivos diversos exigem abordagens de desenvolvimento de modelos adaptadas (Passioura, 1996).

2.2.2 Objetivos e vantagens da utilização dos modelos de simulação cultural

Os modelos de simulação de culturas são ferramentas poderosas utilizadas em diferentes níveis dos sistemas agrícolas, mas o seu impacto na ajuda às comunidades empobrecidas dos países em desenvolvimento é limitado. Para colmatar esta lacuna, são necessários esforços urgentes para garantir a relevância da investigação, a divulgação efetiva e a acessibilidade a potenciais beneficiários. Para enfrentar os desafios do mundo real na agricultura, é necessário concentrarmo-nos em tornar a aplicação de modelos mais acessível e com maior impacto para as populações desfavorecidas (Matthews et al., 2002).

A simulação de sistemas agrícolas inteiros é atualmente muito utilizado na agronomia. A construção e a manutenção dos grandes modelos de simulação necessários para os sistemas

agrícolas, podem beneficiar da aplicação de métodos de programação modernos. Os métodos de programação orientada para os objetos (OOP) apresentam várias vantagens em relação aos métodos processuais convencionais (Van Evert & Campbell, 1994).

A utilização de modelos de simulação é cada vez mais frequente na investigação, no ensino, na gestão de explorações agrícolas e de recursos, na análise de políticas e nas previsões de produtividade. Podem ser aplicados, nomeadamente, na investigação, na gestão de sistemas de culturas e na análise de estratégias (Oteng-Darko et al., 2013).

Os esforços no domínio da genética visam ligar os genes aos fenótipos, o que é vital para melhorar os programas de produção agrícola a nível mundial. A incorporação de modelos de culturas em sistemas mais amplos melhora a compreensão dos impactos agrícolas. Estão a ser feitos progressos na integração de modelos de crescimento de culturas com outros processos para avaliar os efeitos ambientais. Estas abordagens prometem uma seleção mais eficiente e práticas agrícolas sustentáveis a uma escala global (Matthews et al., 2002).

2.2.3 Calibração e validação

É comum calibrar modelos agrícolas, o que envolve determinar certos parâmetros do modelo para aperfeiçoar sua correspondência com os dados (Wallach, 2011). Basicamente, a calibração de modelos consiste em ajustar os parâmetros do modelo para diminuir a discrepância entre os resultados do modelo e os dados observados. A maioria dos estudos de simulação realiza algum tipo de calibração antes da aplicação do modelo (Wallach et al., 2021).

A calibração de modelos consiste na alteração de alguns parâmetros do modelo por forma a que os dados simulados pelo mesmo, sem erros, correspondam aos dados observados. Em muitos casos, mesmo quando um modelo é baseado em dados observados, os valores simulados podem não coincidir exatamente com os dados observados, sendo necessárias pequenas correções em alguns parâmetros. Esta discrepância pode dever-se a erros de amostragem, bem como a um conhecimento incompleto do sistema. Alternativamente, pode ocorrer quando o modelo é aplicado numa situação significativamente diferente daquela para a qual foi inicialmente desenvolvido (Oteng-Darko et al., 2013). A calibração ajusta os parâmetros dentro de limites possíveis e compara com os dados observados. Ela é necessária porque nem todos os parâmetros são medidos diretamente e as características do campo variam no tempo e no espaço; deste modo a calibração deve ser feita regularmente em diferentes locais. Calibrar o modelo com dados reais do campo assegura uma exposição precisa do mesmo (Bhar et al.,

2020). Calibrar, de forma simples, significa ajustar os parâmetros de um código computacional de ciência e engenharia para que o modelo se alinhe da melhor maneira possível aos dados experimentais.

Validar consiste em avaliar a nossa confiança na capacidade de previsão de um código computacional, comparando-o com os dados experimentais (Trucano et al., 2006). A validação de um determinado modelo implica verificar se o modelo calibrado reflete exatamente a realidade. Este procedimento envolve comparar os resultados das simulações com dados observados que não foram utilizados na etapa de calibração (Oteng-Darko et al., 2013). A validação envolve verificar se um modelo desenvolvido a partir da análise de determinados sistemas consegue descrever outros sistemas. No geral, é o processo de testar um modelo calibrado utilizando um conjunto de dados independente que não foi utilizado na calibração (Kersebaum et al., 2015).

2.2.4 Utilização dos modelos de simulação cultural na estimativa do desenvolvimento e produtividade

Estimativas antecipadas da produtividade agrícola em grandes áreas são muito úteis para investigadores e agricultores em termos de planeamento. Esta metodologia utiliza dados meteorológicos reais da região de interesse para correr o modelo (Oteng-Darko et al., 2013).

Para além da sua importância científica, a simulação da produtividade agrícola tem aplicação prática na gestão de sistemas de produção, na formação de stocks, na comercialização, na definição de políticas e ordenamentos agrícolas, e ainda em muitos outros ramos da atividade agrícola (Dourado-Neto et al., 1998).

2.3 O modelo CROPGRO

O modelo CROPGRO é uma ferramenta avançada para simular o crescimento das plantas e processos de produção das mesmas, focando-se no desenvolvimento das culturas e no equilíbrio de carbono e azoto em relação ao solo. Ele prevê como as plantas e o solo respondem a fatores ambientais e práticas agrícolas, usando equações sofisticadas para fotossíntese e respiração, garantindo a precisão. O modelo oferece flexibilidade com cálculos diários de fotossíntese a nível da copa e das folhas. Ele introduz novos métodos de cálculo da fotossíntese por hora a nível das folhas, resultando em respostas mais precisas a fatores como espaçamento e densidade das

plantas. Isso aprofunda a compreensão do impacto climático na fisiologia das plantas e facilita a análise do desempenho das culturas agrícolas (Boote et al., 2018).

O modelo CROPGRO aborda ainda os balanços de carbono, azoto e água, definindo variáveis de estado e taxas. O balanço de carbono, por exemplo, inclui entradas da fotossíntese, conversão e perdas por abscisão (queda de órgãos como folhas, flores ou frutos) e respiração. O modelo também integra um balanço de azoto, com absorção e fixação de N_2 , e uma previsão fenológica sensível a temperatura, fotoperíodo, déficit hídrico e stress de azoto. A representação gráfica e a análise de sensibilidade ajudam a avaliar fatores de gestão, clima, genótipo e danos por pragas, demonstrando o impacto de fatores climáticos e práticas culturais nos processos de crescimento e facilita ainda a análise do desempenho das culturas e a otimização agrícola (Boote et al., 2018).

2.3.1 Calibração do modelo CROPGRO

A calibração do modelo consiste em ajustar certos parâmetros para que ele funcione adequadamente em qualquer sítio desejado. Ao usar um modelo de cultura, é necessário estimar as características do cultivar se estas não forem conhecidas. O modelo precisa de vinte coeficientes genéticos específicos do cultivar. A calibração prepara o modelo para um cultivar específico, enquanto a validação verifica sua capacidade de simular a produção. Esses coeficientes genéticos são usados como referência para as simulações de rendimento (Khatua et al., 2023).

A calibração do modelo CSM-CROPGRO-Tomato demonstrou que o índice de concordância (d-Stat) entre as observações e a simulação do modelo para diferentes parâmetros (peso seco total, peso fresco e seco dos frutos, peso seco vegetativo, número de frutos, índice de colheita e índice de área foliar) foi satisfatório (Elsayed et al., 2017).

O modelo CROPGRO-Tomato foi ajustado inserindo as propriedades do solo, dados climáticos e práticas de gestão da cultura, e posteriormente ajustando os coeficientes genéticos para reproduzir o Índice de Área Foliar (IAF) e a Biomassa Acima do Solo (BAS) observados, desde o transplante até à colheita, nas condições reais dos campos dos agricultores (Muntean et al., 2021). A calibração baseou-se em dados de três campanhas agrícolas, ajustando parâmetros originalmente desenvolvidos para o cultivo de amendoim, sem necessidade de alterações no código do modelo. Os resultados evidenciam a robustez e versatilidade do CROPGRO, destacando o seu potencial para aplicação a outras culturas hortícolas.

2.3.2 Parâmetros do modelo CROPGRO

Segundo Boote et al. (2012), a atualização dos parâmetros de temperatura cardinal do modelo CROPGRO-Tomato melhorou a precisão na simulação do crescimento e produtividade do tomate em resposta à temperatura, um fator crucial devido às alterações climáticas. Novos valores de temperatura cardinal, baseados em estudos recentes em ambientes controlados, foram incorporados para ajustar a fenologia, o vingamento e o crescimento dos frutos. A calibração e avaliação do modelo utilizaram 10 conjuntos de dados experimentais recolhidos entre 1991 e 2007 em três locais na Florida. Os parâmetros modificados reduziram o erro médio quadrático (RMSE) em 44% para o índice de área foliar, 71% para o número de frutos e 36% para biomassa aérea e peso seco dos frutos, com índices Willmott superiores a 0,92. Estas melhorias tornam o modelo mais eficaz na previsão do desenvolvimento e rendimento do tomate.

2.3.3 Validação do modelo CROPGRO

Segundo Scholberg et al. (1997), a adaptação do modelo CROPGRO possibilitou a simulação eficaz do crescimento e da produção de tomate a campo (*Lycopersicon esculentum* Mill.), com o objetivo de apoiar a definição de estratégias de gestão cultural adaptadas a diferentes contextos.

Elsayed et al., 2012, avaliaram o comportamento do modelo CROPGRO-Tomato com dados experimentais recolhidos em 2009, em Legnaro, Itália, com quatro datas de transplantação, quatro variedades e duas práticas agronómicas (com e sem “mulching”). O “mulching” melhorou o rendimento, o crescimento e a eficiência do uso da água, sendo a variedade NPT 63 a mais eficiente. As simulações com o modelo demonstraram boa concordância entre os dados observados e simulados, com valores de índice de concordância (d-Stat) entre 0,68 e 0,99. O estudo concluiu que o modelo, quando combinado com dados experimentais adequados, é uma ferramenta útil para avaliar práticas culturais e prever o desenvolvimento do tomate, embora melhorias adicionais nos coeficientes genotípicos sejam necessárias para uma maior precisão deste.

2.3.4 Utilização agronómica do modelo CROPGRO

White & Jovicich (2012) avaliaram a viabilidade da produção de tomate de indústria na região de Burdekin, no norte da Austrália, como resposta à escassez de água no vale de Goulburn durante

a seca prolongada até 2011. Estes autores utilizaram o modelo Cropgro, após parametrizarem as variedades de tomate para processamento, mais utilizadas na região. Os ensaios avaliaram a produção sob diferentes condições climáticas e identificaram que a temperatura de 29°C era crítica para o desenvolvimento do tomate. As projeções climáticas indicaram que, até 2050, o período em que as temperaturas excedem este valor limite aumentaria de 33 para 60 dias. O modelo Cropgro foi utilizado ainda para analisar práticas de fertilização e irrigação, demonstrando o impacto da variabilidade climática e mudanças futuras na produção de tomate.

2.4 CropScope: descrição da plataforma e evolução da mesma

O “CropScope” é uma plataforma de monitorização agrícola que integra sensoriamento remoto, inteligência artificial (IA) e análise de dados, permitindo aos agricultores obter informações precisas e em tempo real sobre as suas culturas. Com uma interface de fácil utilização, a “CropScope” apresenta mapas interativos e relatórios personalizados que facilitam a visualização de dados e apoiam a tomada de decisões.

A monitorização remota, por meio de imagens de satélite, fornece dados detalhados sobre o desenvolvimento das plantas, identificando áreas que necessitam de atenção. A Inteligência Artificial (IA) e o “machine learning” são elementos-chave que permitem detetar padrões e anomalias, prever rendimentos, identificar pragas e doenças e recomendar intervenções específicas. Modelos preditivos simulam diferentes cenários, ajudando a otimizar a gestão agrícola.

Desde o lançamento, o “CropScope” evoluiu continuamente, incorporando novas funcionalidades. Inicialmente focada na monitorização básica, passou a incluir algoritmos de aprendizagem profunda para uma previsão mais precisa e deteção precoce de pragas. Nos últimos anos, a plataforma adicionou ferramentas de previsão climática e análise de risco e melhorou os modelos de gestão da rega e da fertilização. Parcerias permitiram ainda a integração sensores de solo e estações meteorológicas, ampliando a monitorização em tempo real. Mais recentemente, a interface foi atualizada com uma interface mais apelativa e mais simples de utilizar. Com esta evolução, a “CropScope” mantém-se como uma ferramenta avançada e indispensável para uma gestão agrícola eficiente e sustentável.

2.5 Índice NDVI

O NDVI é um índice comum e amplamente utilizado em detecção remota (Bhandari, Kumar, & Singh, 2012). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é frequentemente usado na análise da vegetação devido à sua facilidade de uso e versatilidade com diferentes sensores multiespectrais, que utilizam bandas visíveis e de infravermelho próximo para o seu cálculo. A sua vasta utilização deve-se à capacidade de simplificar a análise de imagens multiespectrais complexas, estabelecendo-se como uma ferramenta essencial nas aplicações de detecção remota (Huang et al., 2021).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) mede a vegetação avaliando a diferença entre o infravermelho próximo (fortemente refletido pela vegetação) e a luz vermelha (absorvida pela vegetação). O NDVI oscila entre -1 e +1, contudo, não há um limite específico para cada tipo de uso do solo (Sylvia Makario, 2019).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é essencial na agricultura de precisão, usado para medir a biomassa e a saúde das colheitas, ajuda a detetar pragas, doenças e secas precocemente. Este índice permite ainda monitorizar a vegetação ao longo da estação de crescimento e define padrões normais associados a séries temporais. O NDVI estima produtividades e identifica áreas problemáticas rapidamente, quando combinado com outros dados, melhorando a gestão de recursos como água, nutrientes e pesticidas, (Vasyl Cherlinka, 2020).

2.6 Desenvolvimento e escala numérica BBCH

A escala numérica BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie) é um sistema padronizado utilizado para codificar os estados de desenvolvimento das plantas. A escala está dividida em 10 fases principais de desenvolvimento, que são, por sua vez, subdivididas em fases secundárias. A BBCH abrange todo o ciclo de desenvolvimento das plantas, desde a germinação até à senescência (Cardoso et al., 2021).

As escalas BBCH possibilitam a comparação de códigos apenas dentro de um mesmo estado de desenvolvimento principal: um código numericamente maior indica uma fase mais avançada da planta (Figura 2). Assim, a ordenação numérica dos códigos reflete a sequência dos estados de desenvolvimento da planta (Meier et al., 2009).

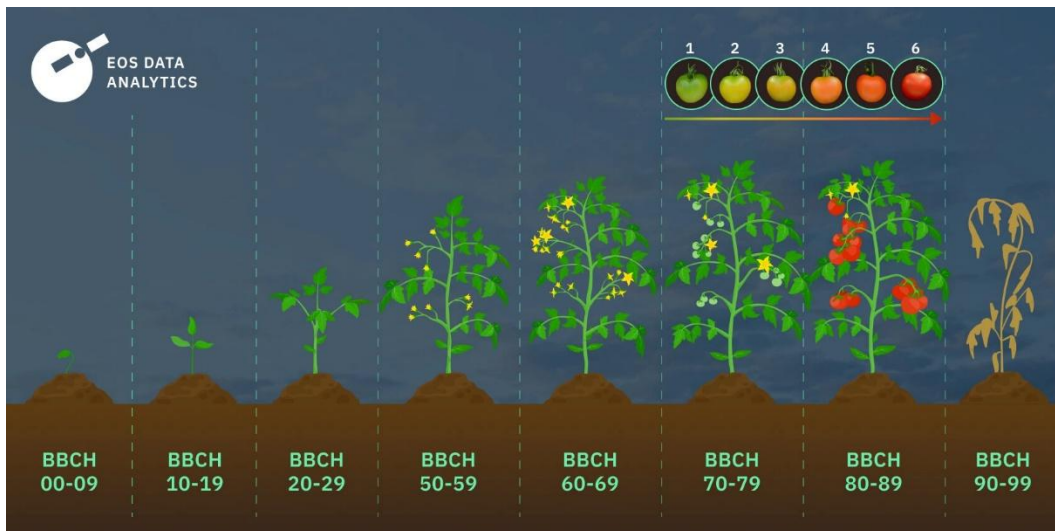


Figura 2 - Imagem ilustrativa das fases da escala de BBCH para a cultura do Tomate de Indústria. Fonte: EOS Data Analytics.

Existem 10 fases principais de desenvolvimento: germinação (fase 0); desenvolvimento das folhas (fase 1); formação de rebentos laterais (fase 2); alongamento do caule (fase 3); desenvolvimento de partes vegetativas da planta (fase 4); emergência da inflorescência (fase 5); floração (fase 6); desenvolvimento do fruto (fase 7); amadurecimento do fruto e da semente (fase 8) e senescência (fase 9) (Weiber et al., 1996).

2.7 Modelo fenológico de graus-dias

As culturas agrícolas precisam de uma certa acumulação de calor para progredir de uma fase de desenvolvimento para a seguinte, num processo conhecido como tempo fisiológico. Os modelos de graus-dia de desenvolvimento utilizam combinações matemáticas de diferentes limiares de temperatura para calcular unidades de calor acumuladas que são, então, usadas para determinar os tempos fisiológicos das diversas culturas (Pathak & Stoddard, 2018).

A análise de 536 conjuntos de dados recolhidos em campos comerciais na Califórnia ao longo de 4 anos concluiu que um modelo de graus-dia, com uma temperatura base de 10 °C e um limite superior de 30 °C, melhorou significativamente a previsão de várias fases de desenvolvimento do tomate para a indústria. Adicionalmente, verificou-se que eram necessários entre 1 100 e 1 600 graus-dia acima de 10°C desde a emergência das plantas até 90% dos frutos estarem maduros (Zalom, 1999).

2.7.1 Método de cálculo dos graus dia

Os graus-dias diários para a duração da fase de crescimento do tomate, ou seja, a duração desde o transplante no campo até à maturação, são calculados utilizando o seguinte modelo:

Cálculo Geral dos Graus-Dia (GDD):

$$GDD = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_{base}$$

Se,

$$T_{base} < \frac{T_{max} + T_{min}}{2} < T_{cutoff}$$

Explicação:

Quando a média das temperaturas diárias $\frac{T_{max}+T_{min}}{2}$ está entre a temperatura base (T_{base}) e a temperatura de corte (T_{cutoff}), o valor dos graus-dia (GDD) é calculado subtraindo T_{base} à média diária das temperaturas.

Quando a Temperatura Média Excede o Valor de Corte

$$GDD = T_{cutoff} - T_{base}$$

Se,

$$\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \geq T_{cutoff}$$

Explicação:

Se a temperatura média diária ultrapassar T_{cutoff} , considera-se que a temperatura efetiva é igual a T_{cutoff} , ignorando valores superiores.

Quando a Temperatura Média Está Abaixo da Base

$$GDD = 0$$

Se,

$$\frac{T_{max} + T_{min}}{2} \leq T_{base}$$

Explicação:

Se a temperatura média diária for inferior ou igual à temperatura base, considera-se que não há acumulação de graus-dia.

2.7.2 Temperatura base do tomate

A temperatura basal (T_b) é a temperatura abaixo da qual o crescimento não ocorre (Boote et al., 2012). As temperaturas base para os graus-dias de crescimento foram determinadas utilizando uma equação de regressão entre a temperatura e a taxa de desenvolvimento do cultivo desde a sementeira até à colheita. Os resultados mostraram temperaturas-base de 6°C na Azambuja, 8°C em Coruche e 10°C em Elvas, indicando um gradiente de aquecimento das zonas mais quentes no início da primavera para as áreas mais frias (Calado, 1987).

3. Material e métodos

3.1 Localização

O campo de ensaio localiza-se em “Bico da Caneja”, em Vila Franca de Xira, distrito de Lisboa (**Figura 3**). A parcela apresenta as coordenadas geográficas de: latitude 38°58'20", longitude 45°N 8°54'30.33"W. O acesso à parcela agrícola é feito a partir da Estrada do Camarão, Portão do Ruivo.

O campo apresenta uma área de cerca de 7,5 ha afetas à produção de tomate de indústria, estando dividido em quatro setores de rega.



Figura 3 - Localização da parcela experimental, do setor de análise e respetivos pontos de colheita de plantas, no campo Bico da Caneja, em Vila Franca de Xira. (Fonte: Google Earth, 2023).

3.2 Caracterização físico-química do solo

O ensaio foi realizado numa parcela cujo solo pertence à unidade pedológica dos Fluvissois, de acordo com a World Reference Base for Soil Resources (WRB, 2014, atualização 2015) da FAO. Os Fluvissois são solos jovens, formados por sedimentos aluviais recentes, típicos de várzeas e planícies fluviais, caracterizados por deposição sucessiva de material e fraca diferenciação dos horizontes (Kastanozem -Mexico & Gaistardo, 2015).

Foram retiradas amostras de solo em 12 pontos de um modo aleatório em toda a parcela no dia 17 de março de 2023. Foram realizadas três colheitas a diferentes profundidades (0 a 15 cm; 15 a 30 cm e 30 a 45 cm), conforme mostra a **Figura 4**.



Figura 4 - Exemplificação do método utilizado para colheita das amostras de solo.

No **Quadro 1** apresenta-se a análise granulométrica das amostras de solo retiradas na parcela do ensaio, no dia 17 de março de 2023.

Quadro 1 - Análise granulométrica de base textural das amostras recolhidas a 17 de março 2023 em diferentes profundidades (0-15cm, 15-30cm e 30-45cm).

Análise granulométrica	Unidade	Profundidade da recolha		
		0 a 15 cm	15 a 30 cm	30 a 45 cm
Areia	(%)	9,0	9,0	9,0
Limo	(%)	49,6	51,6	51,6
Argila	(%)	41,4	39,4	39,4
Classe de textura		Argilo-limoso	Argilo-limoso	Argilo-limoso

Segundo a Classe de textura do solo do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o solo é classificado como argilo-limoso, pois possui elevadas percentagens de limo e argila e uma baixa percentagem de areia em todas as três profundidades analisadas.

No **Quadro 2** apresenta-se a análise sumária das amostras de solo colhidas na parcela do ensaio, no dia 17 de março de 2023.

Quadro 2 - Análise sumária de pH, Matéria orgânica (%), Fósforo assimilável (mg.kg⁻¹), Potássio assimilável (mg.kg⁻¹), Calcário total (%), Azoto nítrico (mg.kg⁻¹) e Azoto total (%) das amostras recolhidas a 17 de março 2023 às profundidades de 0-15cm, 15-30cm e 30-45cm.

Parâmetro	Unidade	Profundidade da recolha		
		0 a 15 cm	15 a 30 cm	30 a 45 cm
pH (água)	-	7,8	7,9	7,9
Matéria orgânica	%	2,3	2,0	2,1
Fósforo assimilável	mg.kg ⁻¹	384,5	335,5	305,5
Potássio assimilável	mg.kg ⁻¹	265,9	212,3	238,8
Calcário total	%	0,5	0,5	0,5
Azoto nítrico	mg.kg ⁻¹	70,9	91,0	109,5
Azoto total	%	0,1	0,1	0,1

As análises do solo revelam um pH adequado para o desenvolvimento das plantas. A diminuição da matéria orgânica com a profundidade alerta para a necessidade de práticas de gestão que promovam a constante incorporação de matéria orgânica, essencial para manter a saúde e a fertilidade do solo ao longo do tempo. Além disso, a redução dos nutrientes como fósforo e potássio nas camadas mais profundas pode impactar negativamente a disponibilidade desses elementos para as plantas, exigindo estratégias de fertilização adaptadas às necessidades específicas da cultura. O aumento do azoto nítrico com a profundidade indica processos potenciais de mobilização ou acumulação desse nutriente, pedindo um acompanhamento rigoroso e uma gestão cuidadosa para garantir a eficiência no uso de adubos azotados. Apresenta-se no **Quadro 3** os valores das bases de troca das amostras de solo colhidas na parcela do ensaio, no dia 17 de março de 2023.

Quadro 3 - Valores das Bases de troca (cmol/kg), Acidez titulável (cmol/kg), Capacidade de Troca Catiônica (cmol/kg) e Condutividade (dSm-1) das amostras recolhidas a 17 de março 2023 em diferentes profundidades (0-15cm, 15-30cm e 30-45cm).

Descrição	Unidade	Profundidade da recolha		
		0 a 15 cm	15 a 30 cm	30 a 45 cm
Ca ²⁺	cmol/kg	20,1	20,4	20,3
Mg ²⁺	cmol/kg	0,8	3,4	0,8
K ⁺	cmol/kg	1,3	0,9	0,8
Na ⁺	cmol/kg	1,0	0,9	0,8
Acidez titulável	cmol/kg	0,0	0,0	0,0
Soma de bases de troca	cmol/kg	23,2	25,6	22,7
CTC	cmol/kg	23,2	25,6	22,7
Grau de saturação	%	100	100	100
Condutividade	dSm-1	0,3	0,4	0,4

De modo geral, os valores apresentados na tabela indicam um solo com elevada capacidade de troca catiónica e boa fertilidade. O cálcio encontra-se em níveis muito bons, enquanto o magnésio apresenta variações que podem indicar a necessidade de fertilização em determinadas camadas. O potássio e o sódio estão em níveis aceitáveis, e a ausência de acidez titulável é positiva. A condutividade elétrica sugere uma baixa salinidade.

3.3 Caracterização climática

Os dados dos elementos meteorológicos foram obtidos a partir de uma estação meteorológica automática, localizada no Ramalhão, na Lezíria do Campo de Vila Franca de Xira, fornecida pela empresa DXAS Agricultural Technology. A mesma está localizada nas seguintes coordenadas 38°59'25"N 8°55'42"W, a cerca de 2,5 km lineares do campo Bico da Caneja, onde foi realizado o ensaio.

Através da aplicação “CropScope”, obteve-se acessos aos dados da temperatura, humidade relativa, pluviosidade, evapotranspiração de referência, radiação solar e vento ao longo de todo o ciclo cultural. O clima da região de acordo com a classificação de Koppen é caracterizado como um clima temperado, do Tipo C, verificando-se o Subtipo Cs (Clima temperado com Verão seco) e as seguintes variedades: Csa, clima temperado com Verão quente e seco.

Em relação à análise climática relativa aos meses de desenvolvimento da cultura, estabeleceram-se comparações dos dados médios mensais com os valores normais (1981 a

2022) no que diz respeito às temperaturas média, mínima e máxima mensal. Foram utilizados os valores normais da estação de Santarém com as seguintes coordenadas geográficas 39°12'N 8°44' W. No que diz respeito à precipitação acumulada, foram utilizados os dados da estação de Vila Franca de Xira (Lezíria), com as seguintes coordenadas geográficas 38°56'38.4"N 8°56'52.8"W entre 1981-2022, extraídos do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH).

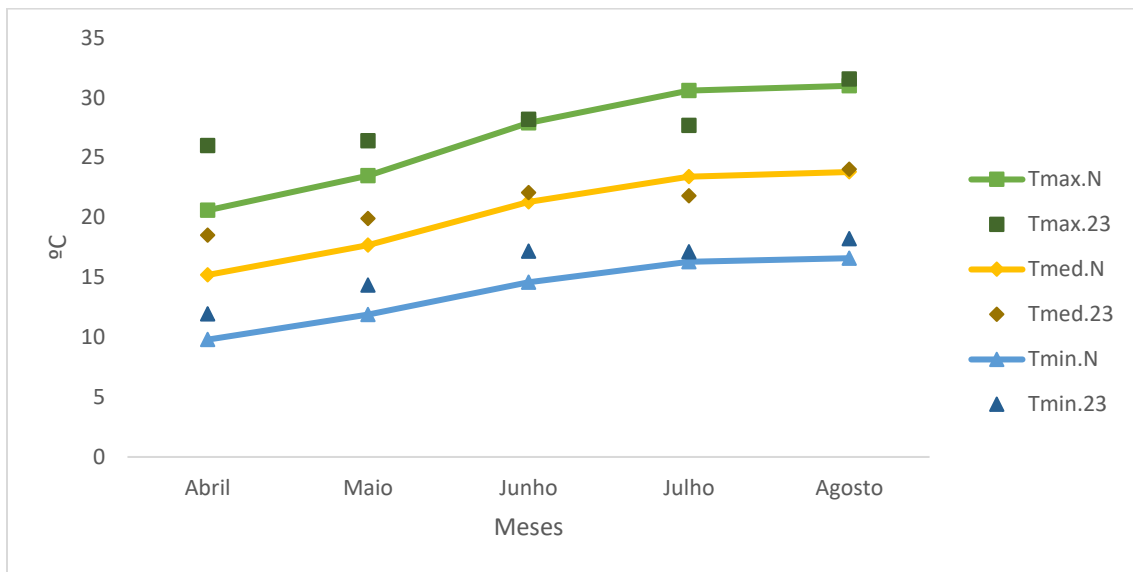


Figura 5 - Comparação entre as médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas em 2023 com a normal climatológica no distrito de Santarém entre 1981-2010. Fonte: IPMA e CropScope.

Analisando o gráfico da **Figura 5** podemos concluir que durante os meses de abril, maio e junho os valores de 2023 relativos às temperaturas mínimas, médias e máximas foram superiores aos da normal de 1981 a 2010. No mês de julho, os valores das temperaturas médias e máximas situaram-se abaixo da normal.

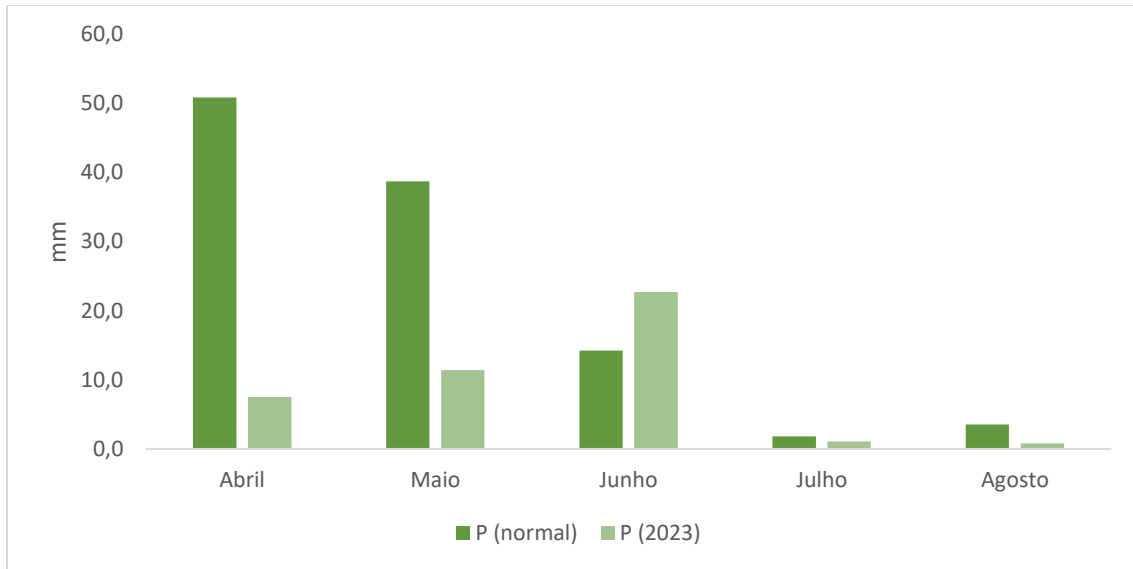


Figura 6 - Comparação da precipitação mensal acumulada em milímetros entre abril e agosto de 2023 com a normal registada pela estação de Vila Franca de Xira (Lezíria) entre 1981-2022. Fonte: SNIRH.

No que diz respeito à precipitação mensal acumulada, ao observarmos o gráfico da **Figura 6**, concluímos que durante os meses de abril e maio, o registo de pluviosidade foi significativamente inferior ao da normal. No mês de junho registou-se uma maior precipitação em 2023, quando comparado com a normal de 1981 a 2022. Já em julho e agosto, não existiram grandes discrepâncias.

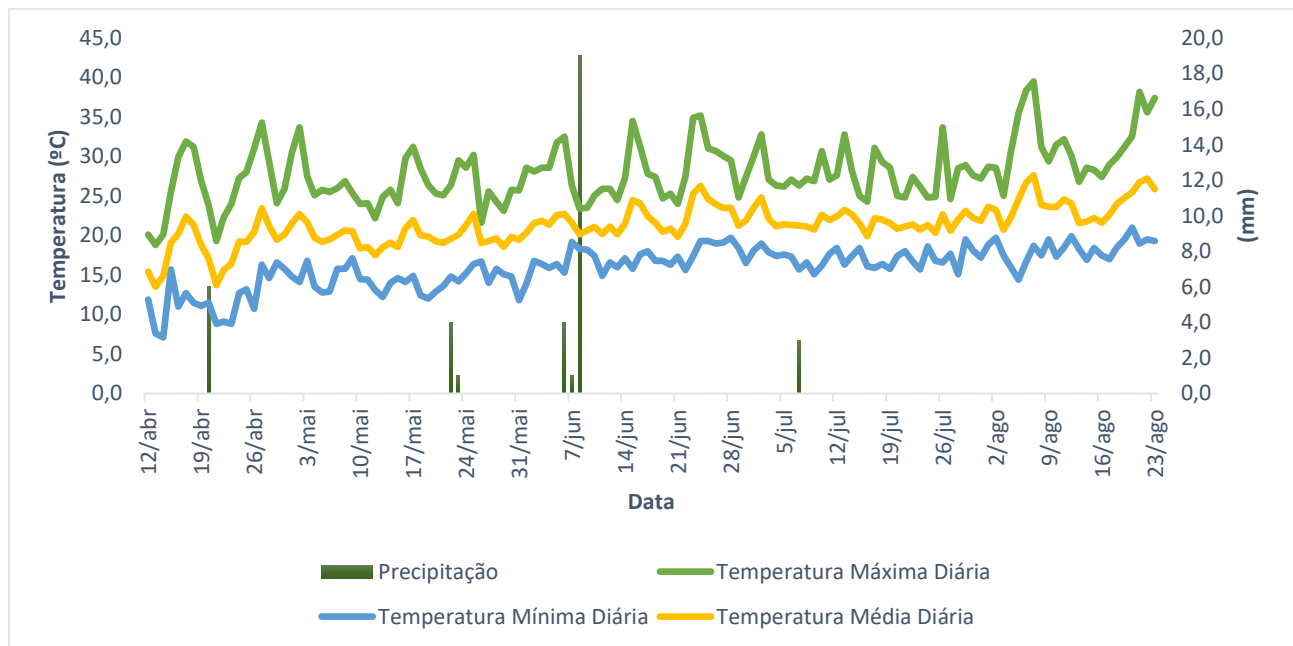


Figura 7 - Termopluviograma que contempla os dados da estação meteorológica entre as datas de plantação e colheita da parcela agrícola.

Ao analisarmos a **Figura 7** podemos observar que foi um ano com excelentes condições meteorológicas para a cultura do tomate. Ao nível das temperaturas mínimas, que podem afetar o desenvolvimento da planta nas etapas iniciais, registaram-se alguns dias abaixo dos 10°, que não foram significativos. Por outro lado, avaliando as temperaturas máximas, apesar de temperaturas altas durante todo o ciclo cultural, que fez a cultura avançar mais depressa, não se registaram grandes ondas de calor como em anos anteriores. Pela **Figura 7**, podemos verificar que são raros os episódios de temperaturas acima dos 35°.

No que diz respeito à precipitação, foi um ano com muito pouca pluviosidade e pouca humidade, o que foi bastante favorável à não proliferação de doenças fúngicas na parcela agrícola. Contudo, foi um ano bastante propício ao aparecimento de pragas, que, contudo, se manifestaram em parcelas de transplantação mais tardia.

3.4 Delineamento experimental

A parcela experimental selecionada para o ensaio foi o setor 4 do campo “Bico da Caneja”, com cerca de 1,5 hectares. Começou-se por delinear 8 pontos aleatórios no sector, através do uso da aplicação “CropScope” e da sua ferramenta de comunicação com georreferenciação. Em cada um dos pontos aleatórios foram definidas 7 linhas de tomate e uma distância de 35 metros em cada uma (**Figura 8**). Em cada uma das datas de colheita foram sorteados, com o auxílio de uma aplicação móvel, uma das 7 linhas, de A a G, e, posteriormente, os metros, entre 1 e 35m. A planta sorteada aleatoriamente foi observada e colhida para análise em laboratório. Este processo foi repetido para cada um dos 8 pontos do setor agrícola, colhendo assim 8 plantas por cada data de observação. O plano de amostragem iniciou-se com colheitas semanais (intervalo de 7 dias) e, numa fase posterior do ciclo, passou a realizar-se com colheitas quinzenais (intervalo de 14 dias), devido ao tempo necessário para a preparação e análise laboratorial do material vegetal.



Figura 8 - Pontos de colheita de plantas, no campo Bico da Caneja, em Vila Franca de Xira. (Fonte: Google Earth, 2023).

1 to 35 meters							
				📍			
	A	B	C	D	E	F	G

Figura 9 - Tabela de orientação para a colheita aleatória de plantas.

- 7** Número de "mini-parcelas" criadas na Parcela Setor 4_Bico da Caneja.
- 📍** Localização central obtida pelo alerta criado na app CropScope (registar coordenadas).
- ABC...** Letras são as linhas do campo. 7 linhas de 153 cm cada uma. Sorteado de A a G.
- 123...** Números de metros. Sorteado de 1 a 35.
- Planta** Escolha da planta correspondente à linha e numero de metros sorteados (ex: C27)

3.5 Análise de desenvolvimento e crescimento

3.5.1 Quantificação da matéria seca através de colheita destrutiva de 8 plantas

Durante o ciclo de desenvolvimento da planta foram-se colhendo plantas para posterior análise laboratorial e determinação da matéria seca. O processo iniciava-se em campo com a colheita das plantas de acordo com o que foi enunciado no ponto 3.4. Após a colheita, as mesmas eram transportadas para a Escola Superior Agrária de Santarém onde se procedia à lavagem das raízes, separação de caules, folhas, flores e frutos com a posterior contagem e pesagem em

verde dos mesmos. O material vegetal foi colocado em estufa ventilada, até peso constante. Após a secagem, o material vegetal foi pesado em balança centesimal para determinar a matéria seca.

3.5.2 Escala BBCH

A escala BBCH foi utilizada para monitorizar e descrever o desenvolvimento fenológico da cultura do tomate (variedade UG16112) ao longo do ciclo. Este sistema fenológico internacional permite identificar de forma precisa cada estágio de desenvolvimento, desde o crescimento vegetativo (BBCH 10-19) até à maturação dos frutos (BBCH 80-89).

As fases fenológicas foram registadas semanalmente, observando-se o número de ramificações, flores e frutos em cada colheita. Para complementar, o cálculo dos graus-dia foi associado a cada fase BBCH, permitindo relacionar as necessidades térmicas com o desenvolvimento fenológico da cultura.

3.6 Caracterização da variedade

Neste trabalho foi utilizada a variedade da empresa United Genetics UG 16112 (**Figura 10**). Esta variedade é caracterizada por ser uma variedade vigorosa, com boa cobertura, aparência saudável e um ciclo médio/longo. Graças ao seu carácter EFS “*Extended Field Storage*,” o UG 16112 é um dos híbridos mais fiáveis para meados e finais da colheita. Os frutos da variedade UG 16112 são conhecidos pela sua elevada qualidade, apresentando boa firmeza e sabor agradável, atributos que favorecem tanto o consumo in natura quanto a utilização em produtos processados, como molhos. Por norma apresenta um peso médio dos frutos 75-85 g, muito boa uniformidade de cor e brix elevado entre 5,2 e 5,3.

A produtividade desta variedade é também um fator relevante, permitindo obter um elevado rendimento por planta, o que é economicamente vantajoso para os agricultores.

Apresenta resistência ao *Verticillium dahliae*, *Verticillium albo-atrum*, ao *Fusarium oxysporum* f.s.p *lycopersici* raça 1 e 2, Nemátodos, *Pseudomonas syringae* pv. *tomato* e ao vírus do bronzeado do tomate.



Figura 10 - Variedade UG 16112 a campo.

3.7 Itinerário cultural

3.7.1 Preparação do solo e operações culturais

A preparação do solo teve início a 20 de março. No **Quadro 4** constam todas as operações de preparação solo:

Quadro 4 - Data, Dias Após Plantação (DAP), semana do ano e tipo de operações de preparação do solo.

Data	DAP	Semana do ano	Operação
20/03/2023	-23	12	Gradagem
21/03/2023	-22		Chisel
23/03/2023	-20		Rototerra
24/03/2023	-19		Modulação do solo (Armador-fresador)

Foi ainda realizada, no dia 15 de maio, uma sacha mecânica, utilizando uma multifresa, aos 33 DAP.

3.7.2 Fertilização de fundo e fertirrigação

Antes da plantação, foi realizada a fertilização de fundo, onde se aplicaram dois fertilizantes. Foram aplicados 170 kg/ha de “KaliSon Plus”, com uma formulação NPK de 0-0-51. Em seguida, aplicaram-se 382,5 kg/ha de Nitrofoska 12-12-17. Por último, foi aplicada uma fertilização localizada de 170 L/ha de Hubel starter 8-24-0, com densidade de 1,27 (Kg/L) (**Quadro 5**).

Quadro 5 - Resumo das aplicações de fertilizante pré transplantação.

Data	Fertilizante	Quantidade (kg/ha)	Quantidade (L/ha)	Azoto (kg/ha)	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)
22/03/2023	KaliSopPlus (0-0-51)	170,0	-	0,0	0,0	86,7
25/03/2023	Nitrofoska (12-12-17)	382,5	-	45,9	45,9	65,0
26/03/2023	Hubel Starter (8-24-0)	-	170,0	17,3	51,8	0,0

Foram aplicados fertilizantes ao longo do ciclo cultural através da rega, ou seja, por fertirrigação (**Anexo 7.4**). As aplicações iniciaram-se no dia 24 de abril, aos 12 DAP e concluíram-se no dia 16 de julho (95 DAP). Foram aplicadas por fertirrigação na totalidade, cerca de 208 kg/ha de azoto, 44 kg/ha de fósforo (P_2O_5) e 95 kg/ha de Potássio (K_2O).

3.7.3 Plantação

A plantação foi realizada no dia 12 de abril 2023 com uma transplantadora automotriz automática marca “Ferrari Futura”, (**Figura 11**). O compasso foi de 21,8 cm entre plantas e de 152 cm entre linhas o que se traduz numa densidade de plantação de cerca de aproximadamente 31 000 plantas por hectare.



Figura 11 - Fotografia da transplantadora em ação.

3.7.4 Tratamentos fitossanitários

Ao longo do ciclo cultural foram aplicados diversos tratamentos, nomeadamente: a aplicação de três herbicidas a 29/04 (17 DAP) a 10/05 (28 DAP) e a 26/05 (44 DAP) (**Anexo 7.1**) ; seis tratamentos com fungicida (**Anexo 7.2**) e seis tratamentos com inseticidas (**Anexo 7.3**). Na realização dos tratamentos foi utilizado um pulverizador de pressão, modelo Mazzotti Ibis 3014 P, que permite uma aplicação precisa e eficiente de fungicidas e inseticidas. Este equipamento com propulsão própria, oferece uma capacidade de tanque de 3 000 litros, com sistema de pulverização ajustável, que garante uma distribuição uniforme dos produtos fitossanitários.

3.7.5 Rega

A rega foi realizada através de um sistema de rega localizada (gota-a-gota). Os gotejadores apresentavam um espaçamento de 0,20 m e um débito nominal de 0,75 L/h. Deste modo, existiam 5 gotejadores por metro de linha, correspondendo a um caudal de 3,75 L/h por metro de linha. Considerando o espaçamento entre linhas de 1,52 m, a intensidade de aplicação foi estimada em aproximadamente 2,467 mm/h. As regas foram efetuadas diariamente, várias vezes ao dia, na maioria das vezes em blocos de cerca de 35 minutos.

O sistema de rega era controlado por um programador Agrónic 2500 da empresa Progrès, que permitia a criação de vários programas de rega diários e também o registo em histórico dos dados de rega em tempo. A gestão da rega foi feita através das recomendações da NEC Corporation, com base num modelo, que eram posteriormente enviadas para a aplicação “CropScope”. Esta aplicação estabelece comunicação com o programador de rega e comanda a rega e a fertilização automaticamente.

Foram irrigados um total de 14 031 minutos de rega, traduzidos em 5 769,3 m³/ha.

Na **Figura 12** apresentam-se os valores da evapotranspiração de referência (ET_o), cujo dados foram recolhidos pela estação meteorológica do Ramalhão e cedidos pela aplicação “CropScope”.

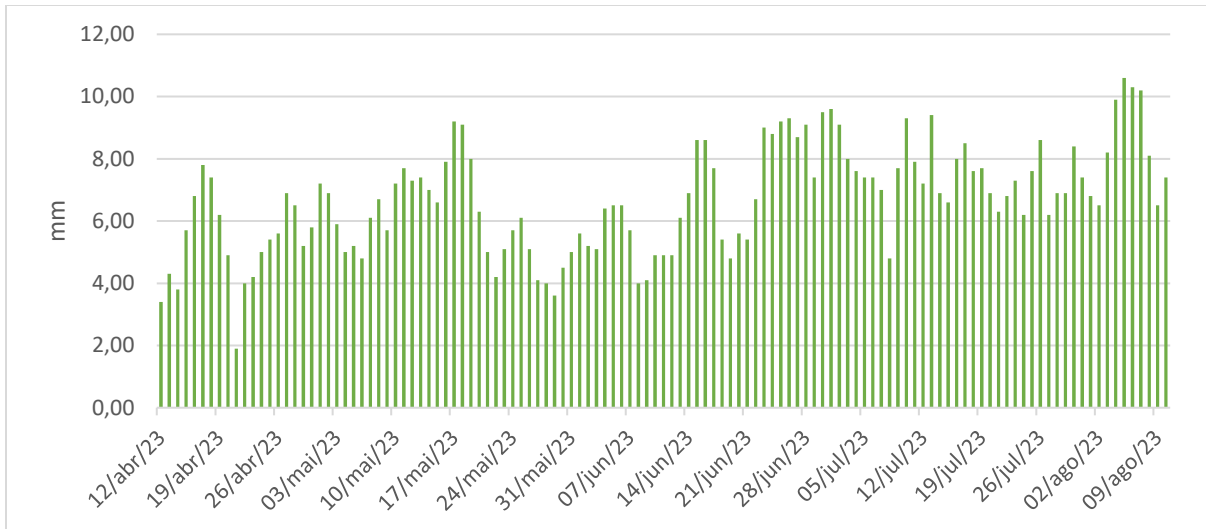


Figura 12 - Evolução dos valores diários dos valores de ET₀ registados entre 12 de abril e 10 de agosto.

Foi instalada uma sonda para monitorização da água no solo na parcela, fornecida pela empresa *DXAS Agricultural Technology*, sendo os dados consultados na aplicação “CropScope”. A sonda *TerraSen* (Dacom) possui cinco sensores distribuídos por camadas de 10 cm, perfazendo um total de 50 cm de profundidade. As leituras do sensor são efetuadas de 15 em 15 minutos, sendo os dados disponibilizados na aplicação “CropScope” com uma periodicidade horária.

A sonda encontrava-se ligada a um *datalogger* da marca Dacom, equipado com painel solar para alimentação da bateria, sendo a comunicação dos dados realizada através da rede móvel GPRS, recorrendo a um cartão SIM dedicado.

Os valores de humidade do solo são apresentados na aplicação sob a forma de água armazenada (mm) em cada camada e no perfil total, resultantes da conversão do conteúdo volumétrico de água medido pela sonda, em função da espessura da camada considerada.

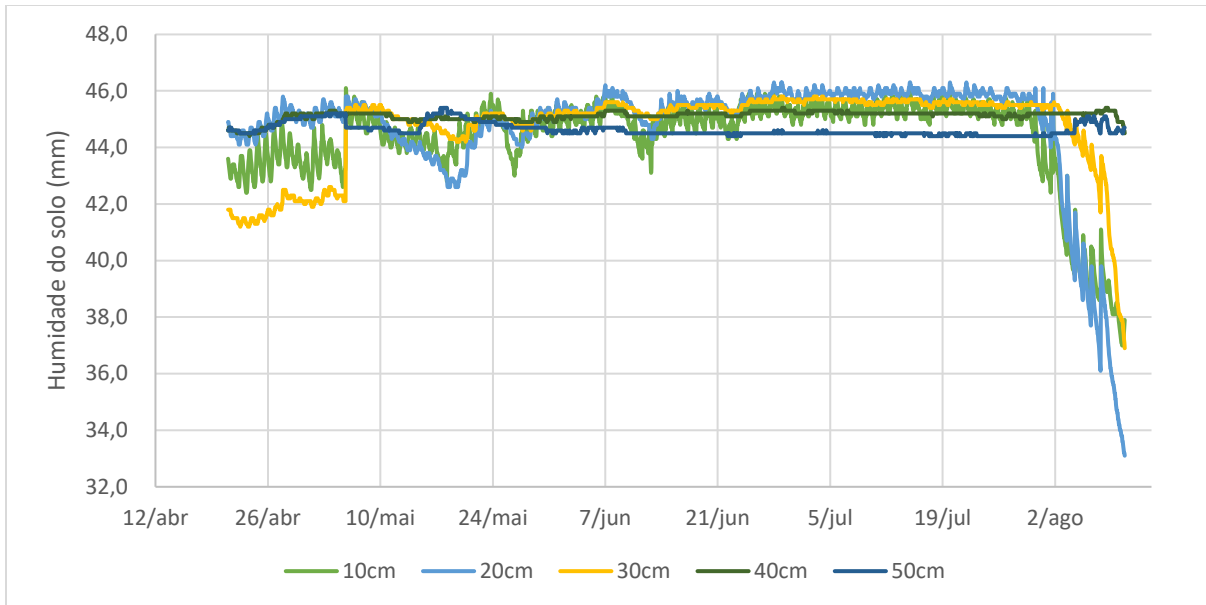


Figura 13 – Evolução dos valores de humidade do solo horária à profundidade de 10cm, 20cm, 30cm, 40cm e 50cm recolhidos por uma sonda capacitativa da marca Dacom no período de 12 de abril a 12 de agosto 2023.

O gráfico da **Figura 13** mostra as leituras de humidade do solo a diferentes profundidades (10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm e 50 cm) ao longo do tempo, de 12 de abril a 12 de agosto de 2023.

De forma geral, as leituras de humidade mantêm-se relativamente estáveis para todas as profundidades durante a maior parte do período monitorado, especialmente de meados de maio até finais de julho. Ao analisarmos por profundidade:

Aos 10 cm: Apresenta variações mais significativas no início do período, com valores mais baixos em abril e início de maio, indicando uma seca mais rápida na superfície do solo.

20 cm: Mantém-se relativamente estável com algumas variações, mas regista um declínio acentuado no final de agosto.

30 cm: Mostra um padrão estável até meados de agosto, seguido por um declínio brusco.

40 cm: Relativamente estável ao longo do período, com uma queda acentuada em finais de agosto.

50 cm: Apresenta a menor variação, sendo a mais estável ao longo do período, com uma queda significativa apenas no final de agosto.

Todas as profundidades registam uma queda acentuada nos níveis de humidade a partir de meados de agosto. Este acontecimento está relacionado com a preparação para a colheita, onde

a redução na irrigação é uma prática comum para facilitar a colheita e melhorar a qualidade do fruto.

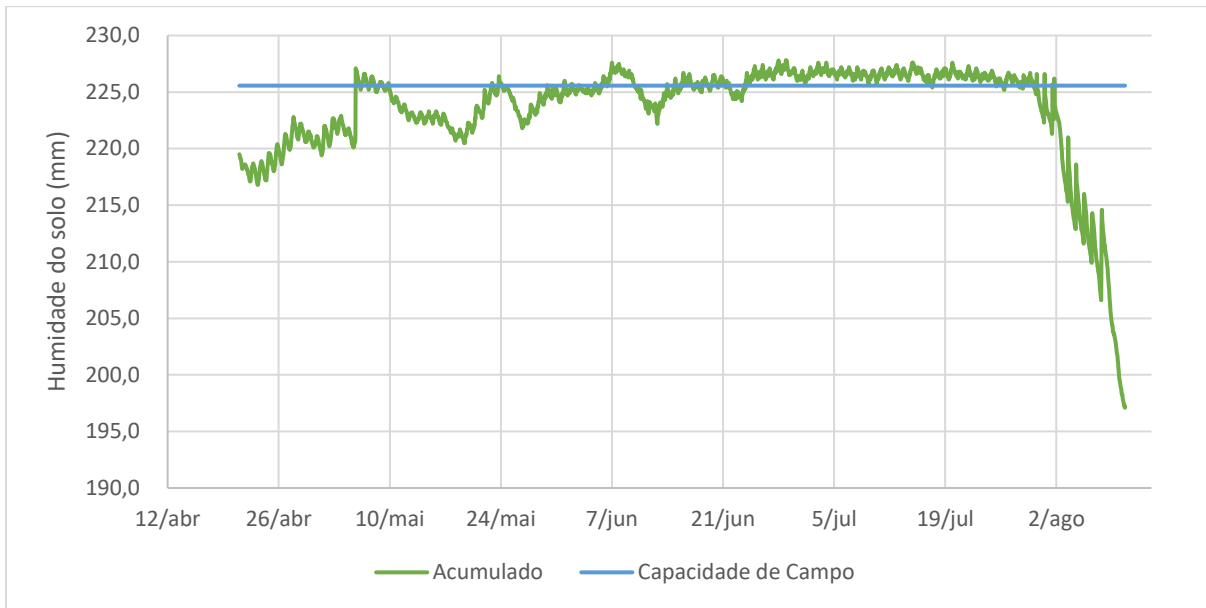


Figura 14 - Evolução da humidade do solo horária acumulada recolhida por uma sonda capacitativa da marca Dacom no período de 12 de abril a 12 de agosto 2023.

O gráfico da **Figura 14** apresenta a humidade acumulada do solo, medida pela sonda 2088, comparada com a capacidade de campo, ao longo do período de 12 de abril a 12 de agosto de 2023.

A linha azul (capacidade de campo) representa a capacidade máxima de retenção de água no solo, que é aproximadamente 225, em mm. Esta capacidade é constante ao longo do período monitorizado. A linha verde (Humidade Acumulada) mostra a quantidade acumulada de humidade no solo.

A **Figura 15** fornece uma visão detalhada sobre a dinâmica da humidade acumulada no solo e a eficácia das práticas de irrigação ao longo da temporada de crescimento, destacando a importância da gestão hídrica para a produção de tomate de alta qualidade.

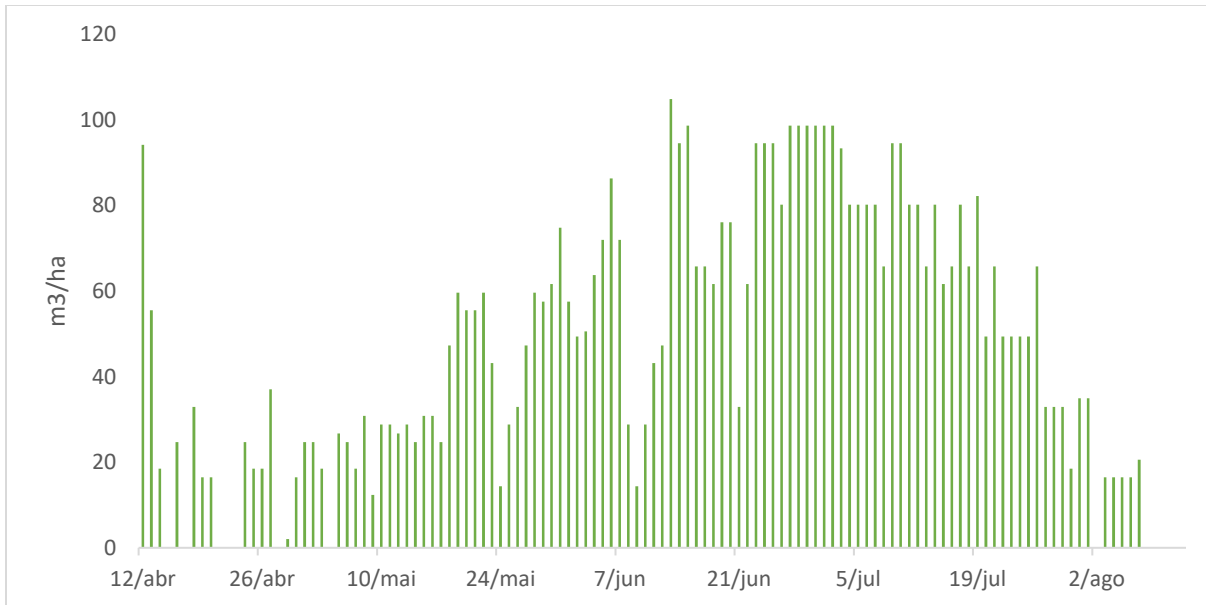


Figura 15 - Registos de rega diários em metros cúbicos por hectare recolhidos do programador Agronic no período de 12 de abril a 12 de agosto de 2023.

Este gráfico mostra a quantidade de água aplicada diariamente por hectare (m^3/ha) no campo de tomate de indústria ao longo do período de 12 de abril a 12 de agosto de 2023. O eixo vertical (m^3/ha) indica a quantidade de água aplicada por hectare, variando de 0 a 120 m^3/ha .

3.7.6 Colheita e testes qualidade tomate

A colheita da parcela foi realizada com uma colhedora Corima/P. Barigelli, modelo BRP 4x4 150, com início a 12 de agosto de 2023.

Em paralelo, foi efetuada uma amostragem específica para avaliação da qualidade do tomate. Para esse efeito, no dia 11 de agosto de 2023 foram recolhidas, ao acaso, três amostras independentes de cerca de 25 frutos cada, selecionando-se três zonas distintas da parcela e colhendo-se 25 frutos por zona. As amostras foram preparadas no próprio dia e posteriormente analisadas em laboratório quanto ao teor de sólidos solúveis (grau Brix), pH, cor e teor de licopeno.

As análises laboratoriais foram realizadas a 18 de agosto de 2023, nos laboratórios da empresa *Kagome Agri-Business Research and Development Center*.

Teor de sólidos solúveis

O conteúdo de sólidos solúveis (TSS), medido em graus Brix (°Brix), foi avaliado utilizando o índice de refração, através da leitura direta do sumo de cada amostra com um refratômetro digital (ATAGO, Pocket, PAL-1).

pH

O pH foi medido utilizando um potenciômetro digital (pH METER D-71, HORIBA). O intervalo normal de pH para o tomate situa-se entre 4,2 e 4,5, o que tem uma influência significativa no sabor dos frutos, sendo que um pH mais elevado está associado a um sabor mais amargo (Calvo et al, 2008). Além disso, valores de pH mais baixos são vantajosos para a indústria, pois diminuem ou eliminam a necessidade de adicionar ácido cítrico aos concentrados de tomate, o que é crucial para a conservação do produto.

Cor

Os valores de cor foram obtidos utilizando um colorímetro (KONICA MINOLTA, CR-5). Este dispositivo mede a luz refletida pelos objetos em diferentes comprimentos de onda, permitindo a quantificação dos dados espectrais para calcular as coordenadas de cor da amostra no espaço de cor $L^* a^* b^*$. Os resultados são apresentados em formato numérico.

Teor de Licopeno

O teor de licopeno foi determinado utilizando um espectrofotômetro (modelo 4251/50, Zuzi), após a extração assistida por ultrassom (Elmasonic S10). A extração foi realizada com solventes como n-hexano, acetona e tolueno, sendo a concentração do licopeno quantificada através da medição da absorbância das amostras num espectrofotômetro UV-Vis, permitindo a quantificação precisa deste carotenoide.

3.8 Índices de vegetação

Os índices de vegetação foram fornecidos pela aplicação “CropScope”, com uma periodicidade diária. A aplicação oferece imagens de NDVI (Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada) em valores absolutos que variam entre 0 e 1, onde 0 representa um baixo valor de cobertura vegetativa e 1 um alto valor de cobertura vegetativa. O acesso pelo “CropScope” às imagens de NDVI de valores relativos que identificam o pior e o melhor local da parcela agrícola e atribuem

a vermelha e verde. O NDVI é obtido das imagens de satélite e calculado de acordo com a fórmula NDVI:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

3.9 Análise e tratamento de dados

Para a análise dos dados deste estudo, foi utilizado o software Microsoft Excel. Inicialmente, os dados foram importados para o Excel, organizados em tabelas estruturadas, eliminando duplicados, corrigindo erros de digitação e normalizando os dados. Com os dados organizados, realizaram-se análises estatísticas descritivas, como cálculo de médias, medianas, modas e desvio padrão. Para a visualização dos resultados, foram criados gráficos e tabelas dinâmicas que ilustram as principais tendências e padrões observados.

4. Apresentação de resultados e discussão

4.1 Avaliação das fases de desenvolvimento

O **Quadro 6** apresenta as fases fenológicas do tomate UG16112 ao longo do ciclo, monitorizadas com a escala BBCH e baseadas nos graus-dia acumulados. No início (BBCH 10-19), entre 20 e 34 dias após o transplante (DAP), observou-se o estabelecimento e crescimento vegetativo, seguido do desenvolvimento dos ramos laterais e aparecimento dos primeiros cachos (BBCH 20-29, 34-42 DAP). Com o início da fase reprodutiva (BBCH 50-59), entre 42 e 49 DAP, surgiram os primeiros frutos, marcando a transição para o desenvolvimento pleno dos frutos (BBCH 60-69, 63-77 DAP), onde se observou um crescimento acentuado de frutos. A fase de maturação inicial (BBCH 70-79, 77-91 DAP) destacou-se pela estabilização do número de cachos e início da coloração dos frutos. Finalmente, a fase de maturação completa (BBCH 80-89), de 91 a 122 DAP, culminou com a colheita a 12 de agosto, com os frutos a atingirem o estado ideal para colheita. Estes resultados sublinham a importância dos graus-dia (°C.dia) para o acompanhamento do ciclo e para o ajuste das práticas de gestão em cada fase do desenvolvimento.

Quadro 6 - Fases fenológicas do tomate UG16112 monitorizadas com a escala BBCH, apresentando os dias após o transplante (DAP), intervalos de datas, graus-dia acumulados e critérios observacionais para cada fase de desenvolvimento, desde o crescimento vegetativo.

Fase Fenológica (BBCH)	Descrição da Fase	DAP (Dias Após Plantação)	Integral Térmico Acumulado (°C.dia)
BBCH 10-19	Estabelecimento e crescimento vegetativo	20 - 34	197 - 336
BBCH 20-29	Crescimento dos ramos laterais	34 - 42	336 - 422
BBCH 50-59	Início da floração	42 - 49	422 - 492
BBCH 60-69	Desenvolvimento de frutos	63 - 77	658 - 849
BBCH 70-79	Início da Maturação dos frutos	77 - 91	849 - 1024
BBCH 80-89	Maturação dos frutos	91 - 122	1024 - 1435

4.2 Evolução do peso seco total da cultura

Na **Figura 16** apresenta-se a evolução média do peso seco total de plantas ao longo do ciclo de crescimento. Observa-se uma tendência geral de aumento do peso seco ao longo do tempo.

Durante as primeiras semanas (2 de maio a 30 de maio), o crescimento foi relativamente lento, assinalando assim um período inicial de estabelecimento das plantas.

A partir de junho, há um aumento mais acentuado no peso seco total, especialmente entre 20 de junho e 11 de julho, que coincide com a fase de crescimento mais ativo e o início da formação e enchimento dos frutos.

O peso seco total médio aumenta gradualmente até alcançar o seu valor máximo em 11 de julho. A estabilização na média do peso seco após 11 de julho (91 DAP) indica que o crescimento vegetativo e o enchimento dos frutos diminuem, sinalizando a transição para a fase de maturação.

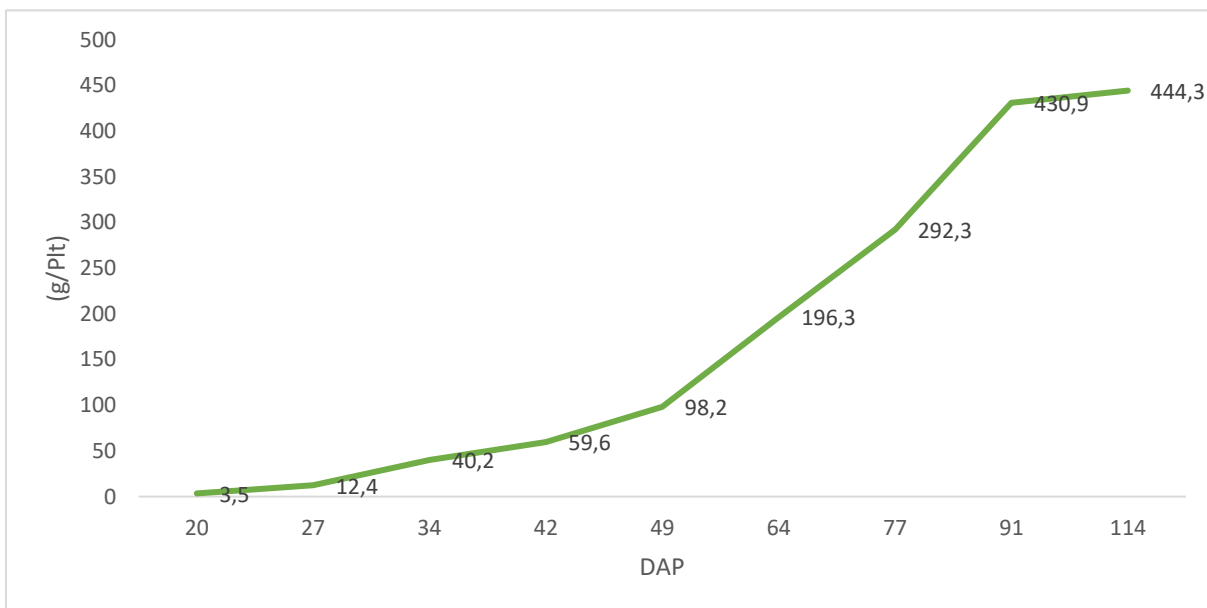


Figura 16 - Evolução do peso seco médio total das plantas colhidas ao longo do ciclo de crescimento, em função dos dias após a plantação (DAP), em gramas por planta, no período de 2 de maio a 1 de agosto.

Além da representação do crescimento em função do tempo (DAP), foi também realizada uma análise do aumento do peso seco médio total das plantas em função do integral térmico acumulado, conforme apresentado no **Quadro 7**.

A utilização do integral térmico acumulado (graus-dia) permite relacionar o desenvolvimento da cultura com a quantidade de energia térmica efetivamente recebida pelas plantas ao longo do ciclo, proporcionando uma descrição mais precisa do crescimento vegetativo do que a simples contagem dos dias após a plantação.

Observa-se que o peso seco médio total das plantas aumenta de forma consistente com o incremento do integral térmico acumulado. Esta tendência confirma que o crescimento da

biomassa está fortemente associado à acumulação de graus-dia, refletindo a dependência do desenvolvimento da cultura face às condições térmicas.

Quadro 7 - Fases fenológicas (BBCH), datas de observação, integral térmico acumulado (°C·dia) e respetivo peso seco médio (g/planta) das plantas de tomate de indústria, no período de 2 de maio a 12 de agosto.

Fase Fenológica (BBCH)	Descrição da Fase	DAP	Data das Observações	Integral Térmico Acumulado (°Cdia)	Peso seco (g/Plt)
BBCH 10-19	Estabelecimento e crescimento Vegetativo	20 - 34	02/mai - 16/mai	336	3,5 - 40,2
BBCH 20-29	Crescimento dos Ramos Laterais	34 - 42	16/mai - 24/mai	422	40,2 – 59,5
BBCH 50-59	Início da Floração	42 - 49	24/mai - 31/mai	492	59,5 – 98,1
BBCH 60-69	Desenvolvimento de Frutos	63 - 77	14/jun - 28/jun	849	196,2 – 292,2
BBCH 70-79	Início da Maturação dos Frutos	77 - 91	28/jun - 12/jul	1 024	292,2 – 430,9
BBCH 80-89	Maturação dos Frutos	91 - 122	12/jul - 12/ago	1 435	430,9 – 444,3

4.3 Taxas de crescimento da cultura

A análise do crescimento da cultura pode ser realizada através de diferentes indicadores. Neste estudo, foram utilizadas a Taxa de Crescimento Média Absoluta (TCA) e a Taxa de Crescimento Média Relativa (TCR) para descrever a dinâmica de desenvolvimento da biomassa da planta ao longo do ciclo cultural.

4.3.1 Taxa de crescimento médio absoluta

Segundo Woodward & Hunt (1980), a Taxa de Crescimento Média Absoluta, é uma medida que expressa o aumento total de biomassa de uma planta ao longo do tempo. Esta métrica é geralmente expressa em termos de massa por unidade de tempo, como gramas por dia (g/dia) ou gramas por semana (g/semana). É calculado através da seguinte fórmula:

$$TCA = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

Onde:

W_1 e W_2 são medidas de biomassa seca em dois momentos distintos, t_1 e t_2 .

Esta é amplamente utilizada em estudos de desenvolvimento vegetal para avaliar a taxa de crescimento média em diferentes fases fenológicas da planta e permite identificar períodos de crescimento intensivo e estabilização.

No **Quadro 8** apresenta-se a Taxa de Crescimento Média Absoluta (TCA) da cultura, expressa em gramas por dia, para cada intervalo temporal analisado. Observa-se uma variação da TCA ao longo do ciclo, refletindo as diferentes fases de crescimento da planta, desde o estabelecimento inicial, passando pelo rápido desenvolvimento vegetativo, até à fase de maturação dos frutos.

Quadro 8 - Taxa de Crescimento Média Absoluta em gramas por dia por Intervalo Temporal.

Intervalo Temporal	DAP	Taxa de Crescimento Média Absoluta (g/dia)
2/mai - 9/mai	20 – 27	1,28
9/mai - 16/mai	27 – 34	3,98
16/mai - 24/mai	34 – 42	2,41
24/mai - 31/mai	42 – 49	5,52
31/mai - 14/jun	49 – 64	7,01
14/jun - 28/jun	64 – 77	6,86
28/jun - 12/jul	77 – 91	9,90
12/jul - 04/ago	91 – 114	0,58

As fases fenológicas da cultura, apresentadas anteriormente no **Quadro 7**, permitem relacionar a evolução do peso seco e o desenvolvimento térmico com as principais etapas do ciclo da planta, desde a plantação até à maturação dos frutos.

Com base na relação entre os dados apresentados nos **Quadros 7 e 8**, foi possível construir a **Figura 17**, que relaciona a Taxa de Crescimento Absoluta (TCA) com a Evolução Média do Peso Seco, permitindo compreender a dinâmica de crescimento ao longo do ciclo de desenvolvimento da planta.

Observa-se que a TCA é mais elevada durante as fases de enchimento e desenvolvimento dos frutos (BBCH 60-79), que correspondem aos períodos de maior necessidade de recursos para o seu crescimento. A estabilização e posterior queda na TCA na fase BBCH 80-89 confirmam o início da maturação, onde o crescimento ativo diminui, e a planta foca-se na maturação final dos frutos.

A correspondência entre a TCA e as fases BBCH confirma o comportamento esperado da planta, onde o pico de crescimento se alinha com a frutificação, e o decréscimo ocorre na maturação.

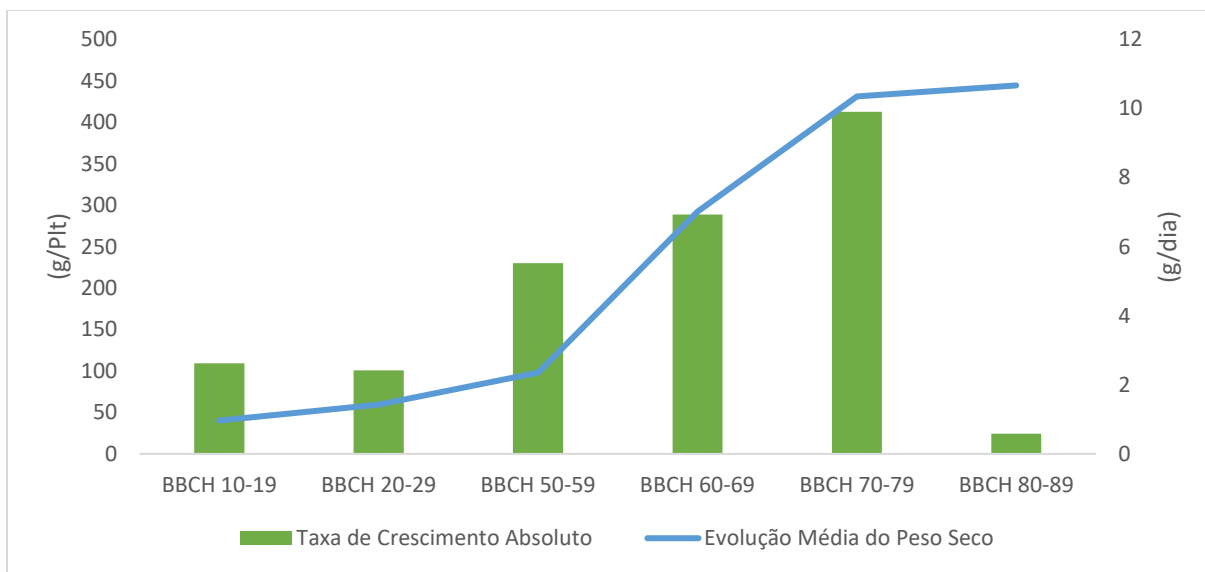


Figura 17 - Taxa de Crescimento Absoluta (TCA), em gramas por dia, em diferentes fases fenológicas da cultura do tomate, de acordo com a escala BBCH, e a Evolução Média do Peso Seco em gramas ao longo do ciclo.

4.3.2 Taxa de crescimento médio relativo

Segundo (Hunt, 1990), a Taxa de Crescimento Médio Relativo (TCR) expressa a taxa de aumento do peso seco total da planta por unidade de peso inicial e por unidade de tempo, permitindo avaliar o crescimento de forma independente da dimensão inicial da planta.

Esta métrica é geralmente expressa em termos de variação relativa de massa por unidade de tempo, como gramas por grama por dia (g/g/dia).

É calculada através da seguinte fórmula:

$$TCR = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$$

Onde:

- W_1 e W_2 são medidas de biomassa seca nos dois momentos distintos.
- t_1 e t_2 são os tempos correspondentes às respetivas medições.

No **Quadro 9** apresenta-se a Taxa de Crescimento Médio Relativo (TCR) da cultura, expressa em gramas por grama por dia (g/g/dia), ao longo dos diferentes intervalos temporais do ciclo cultural.

A TCR reflete a velocidade de crescimento, permitindo uma análise mais detalhada da eficiência desse crescimento.

Quadro 9 - Taxa de Crescimento Médio Relativo (g/g.dia) por Intervalo Temporal.

Intervalo Temporal	DAP	Taxa de Crescimento Médio Relativo (g/g.dia)
2/mai - 9/mai	20 – 27	0,18
9/mai - 16/mai	27 – 34	0,17
16/mai - 24/mai	34 – 42	0,05
24/mai - 31/mai	42 – 49	0,07
31/mai - 14/jun	49 – 64	0,04
14/jun - 28/jun	64 – 77	0,03
28/jun - 12/jul	77 – 91	0,03
12/jul - 04/ago	91 – 114	0,00

A partir da análise realizada, foi possível elaborar a **Figura 18**, que representa a relação entre a Taxa de Crescimento Média Relativo (TCR) e a Evolução Média do Peso Seco ao longo do ciclo da cultura. Verifica-se que a TCR atinge os valores mais elevados nas fases iniciais do desenvolvimento (BBCH 10-29), o que evidencia a elevada eficiência de crescimento

característica das plantas ainda de reduzidas dimensões, ou seja, uma maior velocidade de crescimento.

A partir da fase BBCH 50-59, observa-se uma diminuição progressiva da TCR, em linha com o aumento da biomassa e a consequente transição para a fase de enchimento dos frutos. Já na fase BBCH 80-89, a TCR aproxima-se de valores nulos, indicando a estabilização do crescimento vegetativo e o início do processo de maturação.

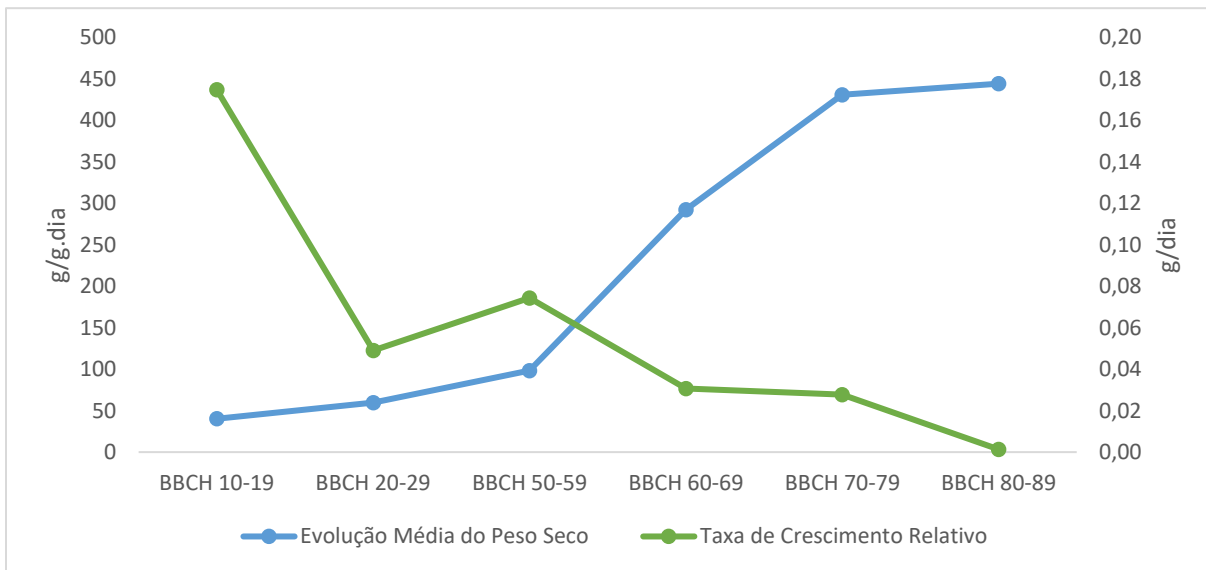


Figura 18 - Relação entre a Taxa de Crescimento Relativo (TCR), em gramas por grama por dia (g/g/dia), e a Evolução Média do Peso Seco, em gramas por planta (g/Planta), ao longo das diferentes fases fenológicas da cultura do tomateiro, de acordo com a escala BBCH.

4.4 Repartição do peso seco da planta e índice de colheita (caules, folhas e frutos)

O gráfico da **Figura 19** representa a evolução da repartição do peso seco da planta, ao longo do ciclo, pelos diversos componentes desta (folhas, caules, flores e frutos). Esta análise fornece dados importantes sobre o desenvolvimento e a repartição da matéria seca pelos diversos componentes da planta ao longo do seu ciclo.

Podemos observar que à medida que a cultura de tomate progride para a fase de frutificação, existe uma maior acumulação de biomassa nos frutos em relação aos outros órgãos. Esta acumulação gradual reflete a transição da planta para o foco na produção reprodutiva, essencial em culturas que visam a maximização do rendimento em frutos.

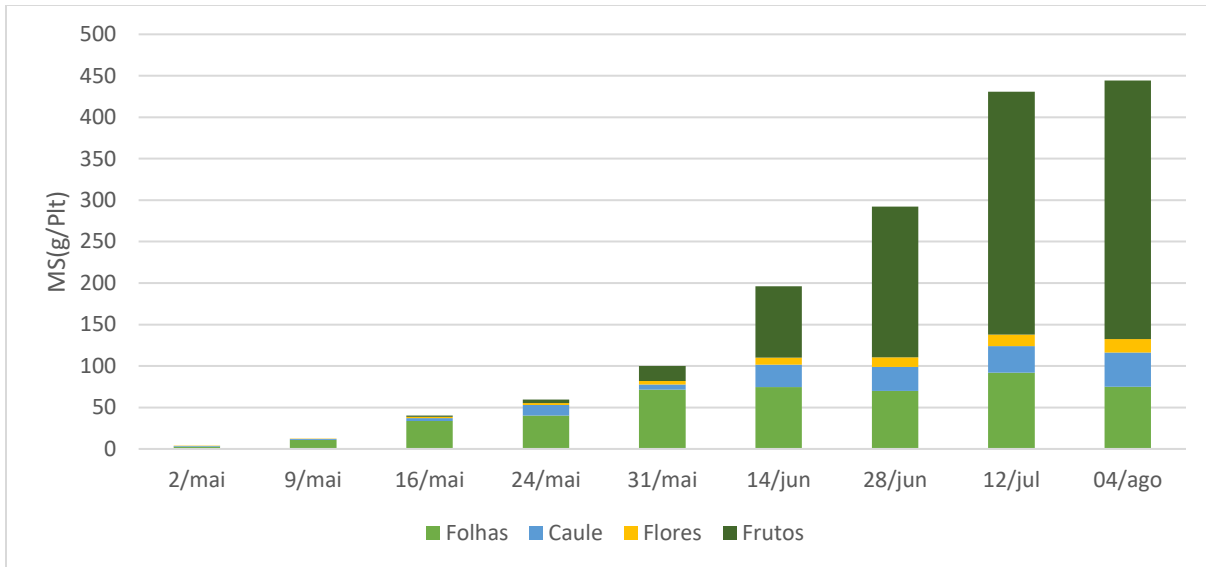


Figura 19 - Repartição do peso seco da planta (g/Pit) ao longo do ciclo de desenvolvimento, entre folhas, caule, flores e frutos, em diferentes datas de observação.

O Índice de Colheita mede a proporção de biomassa total alocada aos frutos em relação ao total da biomassa da cultura, indicando a eficiência da planta na conversão de recursos em rendimento reprodutivo. Ao observamos a **Figura 20** verificamos uma tendência de aumento considerável nas fases finais de frutificação e maturação. No período final de colheita o valor do IC foi de 70%.

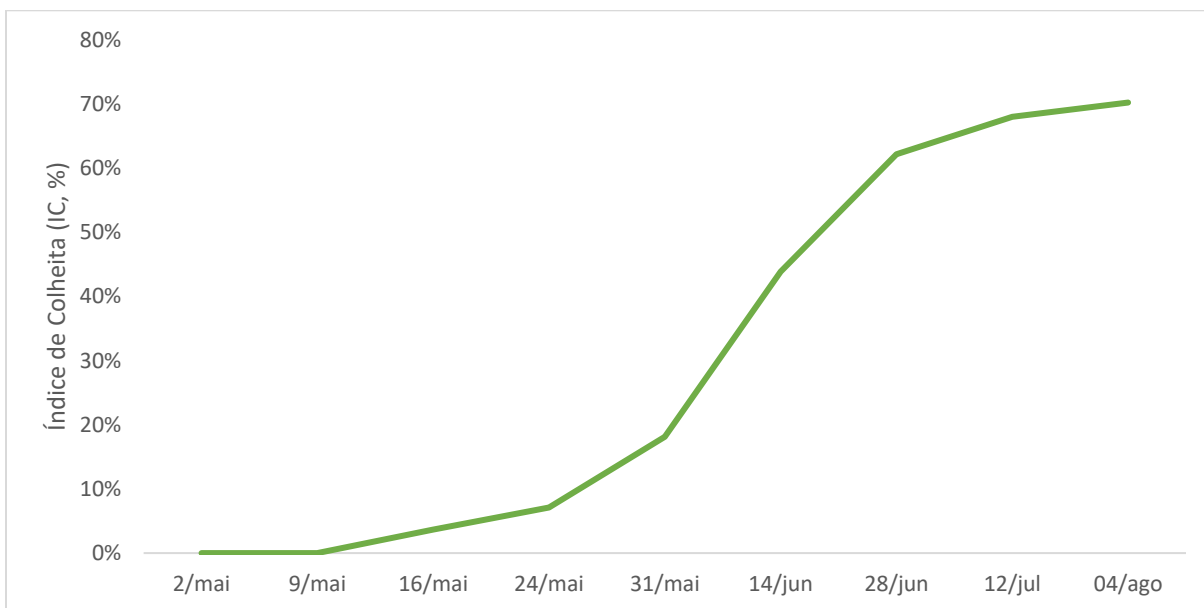


Figura 20 - Evolução do Índice de Colheita (IC) ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do tomate.

A **Figura 21** mostra a comparação entre o NDVI e a Evolução do Peso Seco Total ao longo das semanas da cultura. Durante as primeiras semanas, ambos os indicadores aumentam progressivamente, sendo que o NDVI mais rapidamente que o Peso Seco Total.

A estabilização e o subsequente declínio do NDVI coincidem com o pico e a estabilização do Peso Seco Total, sugerindo que o NDVI pode ser útil para monitorizar o crescimento vegetativo.

O cruzamento das linhas na Semana 14 coincide com o início da fase de maturação segundo a escala BBCH. Este cruzamento pode refletir uma mudança fisiológica importante na planta, onde a alocação de recursos passa a focar-se mais nos frutos e menos no crescimento vegetativo.

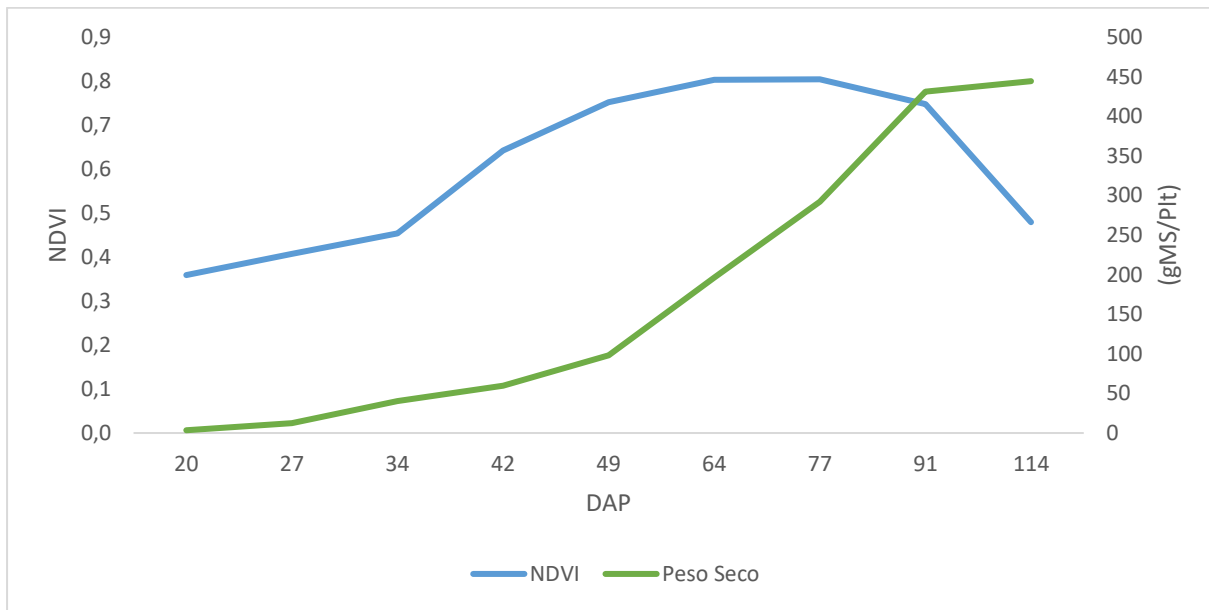


Figura 21 - Comparação entre o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e o Peso Seco Total, em gramas por planta (gMS/Planta), ao longo dos dias após a plantação (DAP).

4.5 Evolução do NDVI e relação com o desenvolvimento vegetativo

Na **Figura 22** é apresentada a evolução do NDVI ao longo do ciclo de desenvolvimento. Observa-se um aumento progressivo até atingir um máximo por volta dos 70-80 DAP, seguido de uma diminuição associada à maturação e senescência da cultura.

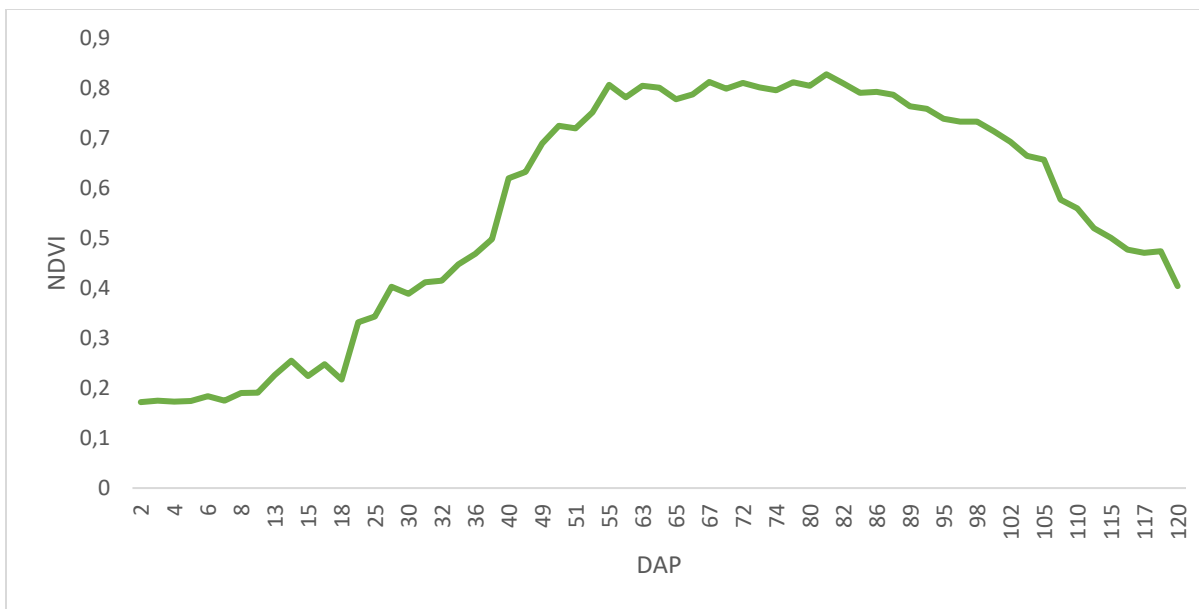


Figura 22 - Evolução dos valores de NDVI da parcela experimental, registados no período de 14 de abril a 10 de agosto 2023.

Para correlacionar o NDVI com a biomassa vegetativa, foi estimado o Índice de Área Foliar (IAF) utilizando o peso seco das folhas recolhido nas datas de amostragem. Considerou-se um valor de superfície foliar específica (SLA) de 150 cm²/g, segundo (Patanè et al., 2022). A área foliar foi calculada multiplicando o peso seco das folhas pelo SLA, e o IAF foi obtido considerando a densidade de plantação de 3,3 plantas/m².

O **Quadro 10** apresenta os valores de IAF correspondentes a cada momento de amostragem, expressos em função dos dias após a plantação (DAP). Estes dados serviram de base para a análise de correlação com os índices de vegetação, nomeadamente o NDVI.

Quadro 10 - Valores do Índice de Área Foliar (IAF) estimados ao longo do ciclo da cultura, em diferentes momentos de colheita, de acordo com os dias após a plantação (DAP).

DAP	Índice de Área Foliar (IAF) (m ² /m ²)
20	0,14
27	0,53
34	1,67
42	1,99
49	3,54
64	3,68
77	3,46
91	4,54
114	3,71

Por forma a complementar a interpretação, na **Figura 23** é apresentada a correlação entre o NDVI e o índice de área foliar (IAF) estimado a partir do peso seco das folhas.

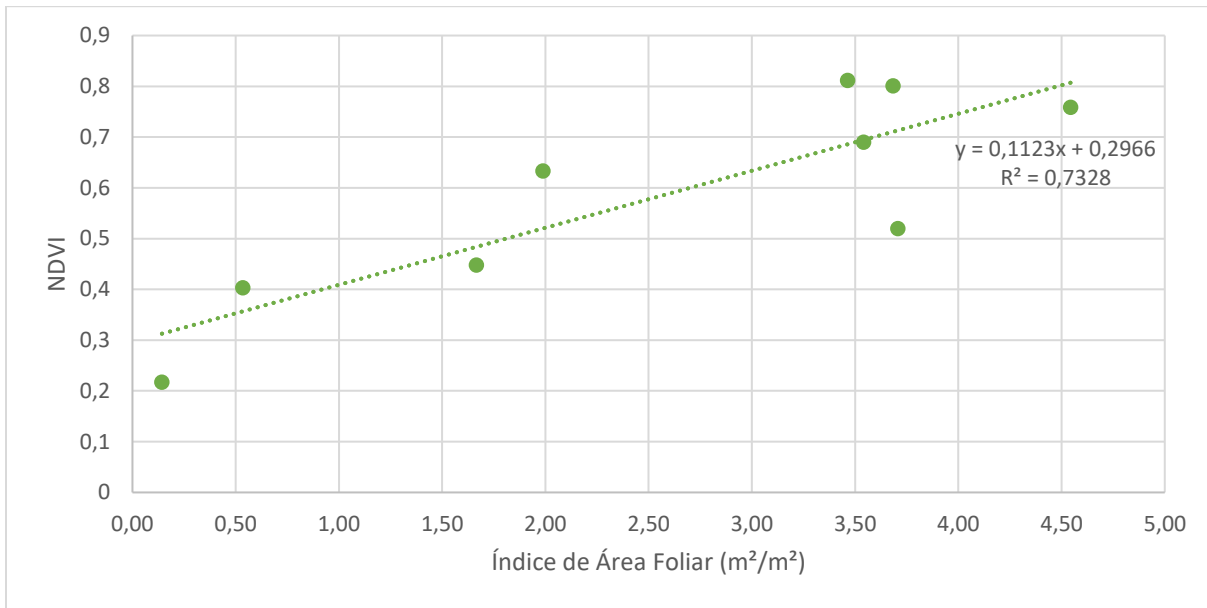


Figura 23 - Relação entre o Índice de Área Foliar (IAF) estimado e o NDVI para a cultura.

Observa-se uma correlação positiva entre o índice de área foliar (IAF) e o NDVI, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,73, indicando que aproximadamente 73% da variabilidade do NDVI pode ser explicada pelo IAF estimado. Esta forte associação confirma que o NDVI é um indicador adequado para monitorizar o desenvolvimento vegetativo do tomate de indústria.

4.6 Ajuste de modelo logístico ao crescimento em peso seco

Para entender a dinâmica de crescimento da biomassa total da planta ao longo do ciclo, foi ajustado um modelo de crescimento logístico aos dados de peso seco total médio por planta, adquiridos nas diferentes datas de colheita.

O modelo logístico é uma função comum na modelação do crescimento de culturas, permitindo identificar três fases distintas: crescimento inicial exponencial, crescimento linear abarcando o ponto de inflexão da curva e, por fim, fase de menor crescimento até à estabilização (assíntota).

A equação ajustada foi a seguinte:

$$M(t) = \frac{a}{1 + e^{-c(t-b)}}$$

Onde:

- $M(t)$ representa o peso seco total da planta (g/planta) em função dos dias após a plantação (DAP);
- $a = 469,8$ corresponde à assíntota, ou seja, o valor máximo teórico de acumulação de biomassa;
- $b = 175,1$ representa a dimensão inicial do sistema e está relacionada com o ponto de inflexão da curva;
- $c = 0,076$ é a taxa de crescimento inerente ao sistema.

O ajuste do modelo logístico presente na **Figura 24** mostrou um coeficiente de determinação $R^2=0,996$, indicando um excelente ajustamento e reforçando a validade do modelo para descrever o crescimento da biomassa da cultura nesta campanha.

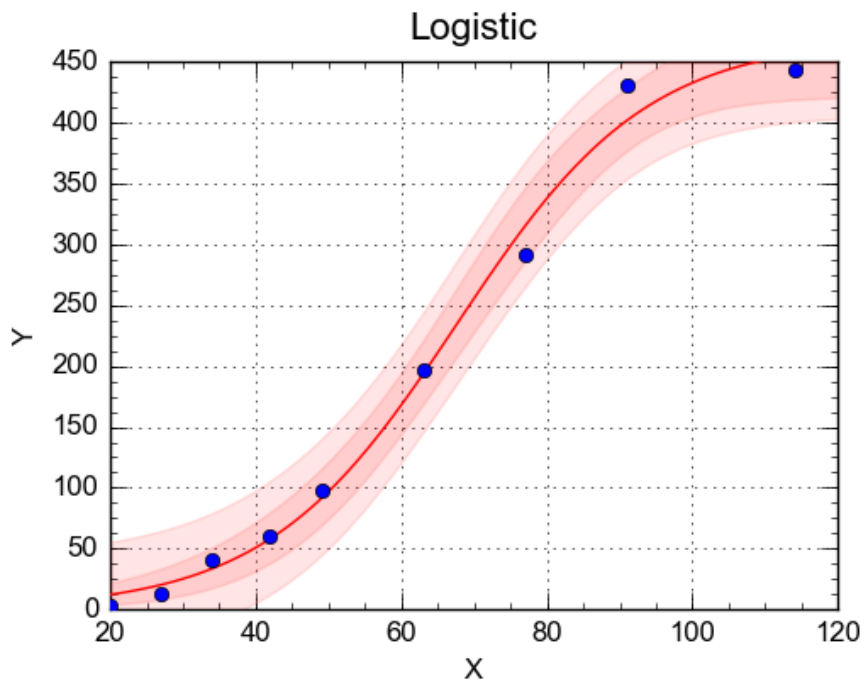


Figura 24 - Ajuste do modelo logístico à evolução da biomassa total da planta. O eixo X representa os DAP (DAP) e o eixo Y corresponde à Massa Seca Total (g/planta). Os pontos azuis representam os valores observados e a linha vermelha representa a curva ajustada. A área sombreada corresponde ao intervalo de confiança.

Este tipo de modelação pode ser particularmente útil para antecipar a evolução do crescimento da planta e auxiliar na tomada de decisão, como o momento ideal para aplicações culturais, irrigação, ou previsões de colheita.

4.7 Concentração da maturação e produtividade

No **Quadro 11** apresenta-se a percentagem de frutos por classe de maturação: frutos verdes, laranjas e vermelhos (maduros). Observa-se uma transição nítida entre os 91 e os 114 DAP dos frutos verdes para vermelhos com o normal evoluir da maturação.

A análise de 12 de julho apresenta uma maturação de 28%, o que coincide com a escala BBCH 70-79 de Início de Maturação dos Frutos. A 4 de agosto, a cerca de uma semana da colheita, com 114 DAP's, o campo apresenta cerca de 90% de maturação.

Quadro 11 - Evolução da percentagem de frutos ao longo do tempo, categorizados por estados de maturação: frutos verdes, laranjas e vermelhos (maduros).

Data	DAP	Vermelhos (%)	Laranjas (%)	Verdes (%)
12/07/2023	91	28	14	58
04/08/2023	114	90	3	7

A **Figura 25** mostra a evolução da maturação dos frutos de tomate entre as datas de 12 de julho e 4 de agosto, destacando a proporção de frutos em diferentes estados de maturação, verdes, laranjas e vermelhos. Em 12 de julho a maior parte dos frutos ainda estão verdes e a maturação reduzida, enquanto a 4 de agosto o campo apresenta já uma maturação elevada, muito próximo da sua plenitude, cerca de 90%.

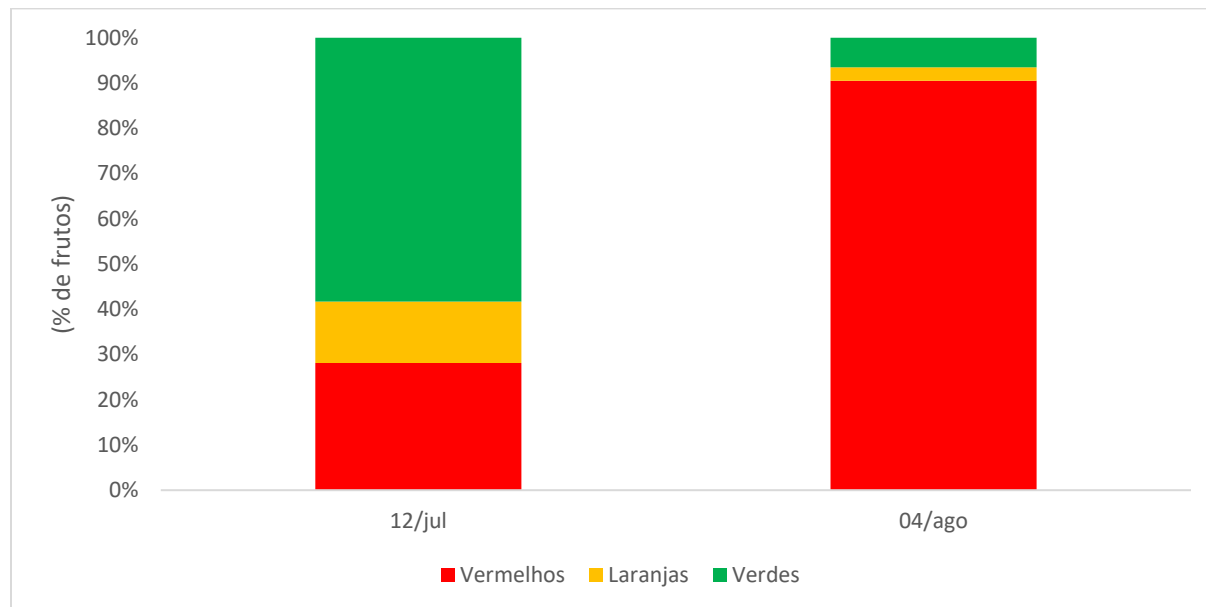


Figura 25 - Distribuição percentual dos frutos de tomate por classe de maturação (verdes, laranjas e vermelhos) em 12 de julho e 4 de agosto.

A **Figura 26** apresentada ilustra a produtividade em toneladas por hectare em duas datas distintas: 12 de julho e 4 de agosto.

Após serem separados, contados, pesados e registados, foi possível obter uma média do peso dos frutos por planta. Multiplicando esse valor pela densidade de plantação, determinou-se a produtividade potencial, que inclui frutos em todos os estados de maturação.

No dia 12 de julho, com 91 dias após o transplante (DAP), a produtividade foi estimada em 147 t/ha, com um intervalo de confiança (IC 95%) de ± 26 t/ha. Já no dia 4 de agosto, com 114 DAP, registou-se uma produtividade de 158 t/ha, com IC de ± 21 t/ha. Este aumento da produtividade deve-se principalmente ao processo de maturação e ao enchimento dos frutos durante a fase BBCH 80-89.

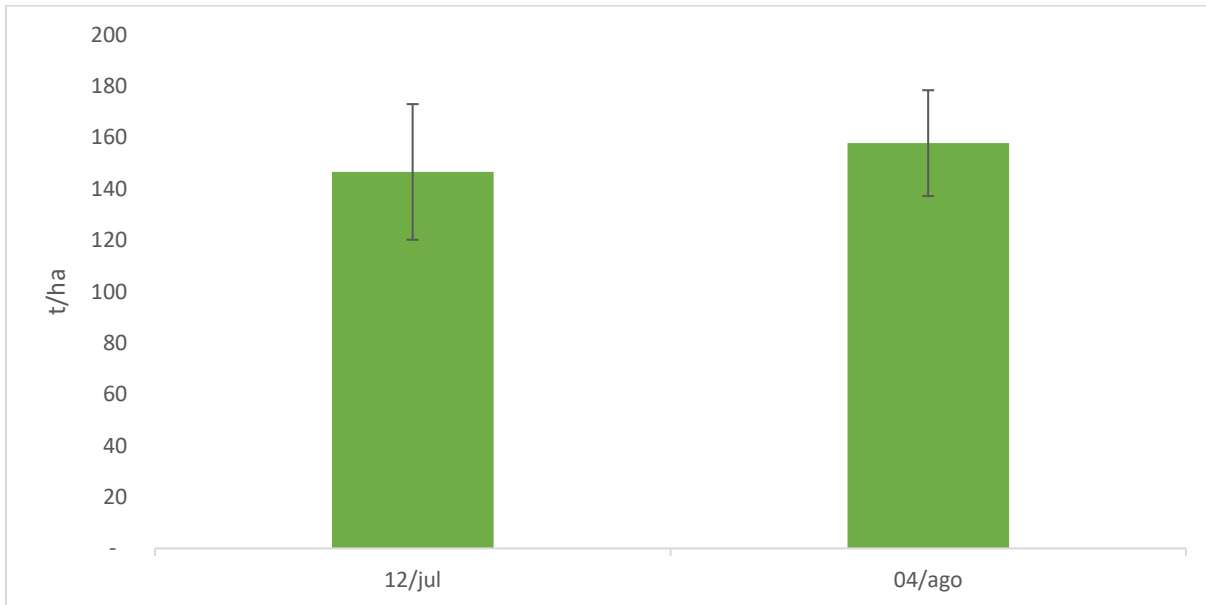


Figura 26 - Produtividade potencial em toneladas por hectare (t/ha) nas datas de 12 de julho e 4 de agosto. As barras de erro representam o intervalo de confiança de 95% para cada data.

O teste *t* foi realizado no Excel, com base nas produtividades observadas em 8 plantas para cada data. Obteve-se um valor de *p* de 0,52, indicando que não há evidência estatística para afirmar que o aumento observado foi significativo ao nível de confiança de 95%.

A diferença de médias, embora visível no gráfico, poderá dever-se à variabilidade natural entre plantas, não sendo suficientemente consistente para ser considerada estatisticamente relevante.

Para complementar a **Figura 26**, o **Quadro 12** apresenta o número de frutos e o peso médio por fruto em ambas as datas. É interessante notar que, aos 114 DAP, o número de frutos é ligeiramente inferior; no entanto, o enchimento dos mesmos eleva significativamente a produtividade potencial do campo.

Quadro 12 - Número de frutos, peso total dos frutos (g) e peso médio por fruto (g/fruto) em duas datas distintas: 12 de julho e 4 de agosto.

Data	Nº médio de Frutos por planta (Nº/Plt)	Peso médio de frutos por planta (g/Plt)	Peso médio dos frutos (g/fruto)
12/07/2023	91	4 457	49
04/08/2023	86	5 052	59

A produtividade estimada a partir da última colheita de plantas antes da colheita final foi de 166 t/ha. No entanto, a produtividade final do campo, após os descontos da fábrica, fixou-se em 161 t/ha, evidenciando uma ligeira redução de aproximadamente 3 % em relação à estimativa obtida em campo ($161/166 = 0,97$), correspondendo assim a 97 % da produtividade prevista. Esta elevada correspondência confirma a boa precisão do método de estimativa, sendo a diferença possivelmente atribuída a perdas durante a colheita, transporte e à depreciação fabril.

Comparando com outra área cultivada com a mesma variedade (UG16112), o Pivot 4, Setor 4 registou uma produtividade inferior, de 144 t/ha. Esta diferença pode estar associada a fatores como variações na fertilidade do solo, disponibilidade hídrica e condições de desenvolvimento da cultura. Estes resultados demonstram a importância da monitorização da produtividade em diferentes áreas para otimizar a gestão da cultura.

5. Conclusões

5.1 Notas conclusivas

O presente trabalho teve como principal objetivo a estimativa da produtividade da variedade UG16112 de tomate de indústria, cultivada em condições comerciais na região da Lezíria do Tejo. Para tal, foram combinadas diferentes abordagens, incluindo observações fenológicas em campo, medições biométricas ao longo do ciclo da cultura, análise de índices de vegetação obtidos por satélite e o recurso a um modelo de simulação da produção.

A utilização da escala BBCH, em conjugação com o cálculo dos graus-dia acumulados, permitiu acompanhar de forma rigorosa o desenvolvimento da cultura desde o estabelecimento até à maturação. Esta abordagem revelou-se útil para caracterizar as fases-chave do ciclo da planta, fornecendo uma base sólida para a interpretação das necessidades da cultura e para a afinação de práticas agrícolas em função da fenologia.

A análise do peso seco total das plantas, colhidas em diferentes pontos do campo, evidenciou um padrão de crescimento contínuo, com um aumento mais acentuado a partir de meados de junho, altura que coincidiu com a fase de maior atividade fisiológica da planta, nomeadamente o enchimento e desenvolvimento dos frutos.

Através do cálculo da Taxa de Crescimento Médio Absoluta, foi possível identificar com maior precisão os momentos de maior acumulação de biomassa. Verificou-se que o pico de crescimento coincidiu com a fase de frutificação (BBCH 60-79), diminuindo gradualmente à medida que a cultura avançava para a maturação (BBCH 80-89). Estes resultados confirmam o comportamento típico da cultura, com uma forte mobilização de assimilados durante a formação dos frutos, seguida de uma fase de estabilização.

No que diz respeito à repartição do peso seco, observou-se uma progressiva transferência de biomassa para os frutos à medida que o ciclo evoluía, refletindo a transição da planta do crescimento vegetativo para o reprodutivo. O Índice de Colheita aumentou significativamente nas últimas semanas, evidenciando a eficiência da planta na conversão da biomassa total em rendimento produtivo, o que é fundamental numa cultura com objetivo comercial.

Adicionalmente, o ajustamento de uma curva logística aos dados de massa seca total revelou-se uma ferramenta eficaz para descrever a dinâmica de crescimento da cultura ao longo do ciclo. O modelo apresentou um excelente nível de ajustamento aos dados observados ($R^2 = 0,996$), permitindo identificar de forma clara as diferentes fases de desenvolvimento da planta, desde o

crescimento inicial até à estabilização da biomassa. Esta abordagem matemática mostrou-se útil não só para interpretar o comportamento da cultura, como também para apoiar decisões técnicas em campo, ao fornecer uma representação previsível e fiável da evolução do crescimento da planta.

A análise do índice de vegetação NDVI, obtido através da plataforma CropScope, demonstrou ser um indicador promissor do estado de vigor e desenvolvimento da cultura. O comportamento do NDVI ao longo do ciclo apresentou uma correlação coerente com o crescimento do peso seco total, especialmente durante as fases vegetativas. A sua estabilização e posterior declínio acompanharam a transição para a maturação, sugerindo que este índice pode ser uma ferramenta útil na monitorização do desenvolvimento e na estimativa indireta da produtividade.

Em relação à maturação e produtividade, foi possível acompanhar a evolução da coloração dos frutos, verificando-se que, a poucos dias da colheita, cerca de 90% dos frutos apresentavam coloração vermelha, estando aptos para a colheita mecânica. A produtividade estimada com base nas colheitas realizadas antes da colheita final foi de 166 t/ha, valor bastante próximo do registado pela fábrica (161 t/ha), o que valida o método de estimativa utilizado. A ligeira diferença poderá ser atribuída a perdas durante a colheita, transporte ou penalizações industriais.

A comparação com outra área cultivada com a mesma variedade, que apresentou uma produtividade inferior (144 t/ha), destaca a influência de fatores como a fertilidade do solo, a gestão da rega e o estado sanitário da cultura. Esta variabilidade reforça a importância de uma gestão técnica ajustada à realidade de cada parcela.

Em síntese, os resultados obtidos demonstram que é possível estimar com boa precisão a produtividade da cultura do tomate de indústria através da conjugação de medições em campo, observações fenológicas e ferramentas digitais como o NDVI. A continuação deste trabalho, com a aplicação do modelo CROPGRO, permitirá aprofundar a componente de simulação da cultura e contribuir para uma gestão agrícola mais informada, eficiente e adaptada às condições reais do campo.

5.2 Perspetivas para futuros trabalhos

Apesar dos resultados alcançados neste trabalho serem bastante positivos e reveladores, existem ainda vários caminhos que poderão ser explorados no futuro com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre a variedade UG16112 e melhorar a estimativa da sua produtividade.

Um primeiro passo será testar esta variedade noutras localizações e em diferentes tipos de solo, de modo a avaliar a sua resposta a condições edafoclimáticas distintas. Esta comparação permitiria perceber até que ponto os resultados obtidos neste estudo são replicáveis noutras regiões ou se existem limitações à sua adaptabilidade. Ao mesmo tempo, ajudaria a compreender melhor o impacto que as características do solo e do clima têm no desempenho da cultura.

Adicionalmente, seria interessante alargar a análise a outros índices de vegetação para além do NDVI, como o GNDVI, o EVI ou o SAVI, que poderão fornecer dados mais específicos e eventualmente mais correlacionados com certas fases do desenvolvimento da planta ou com a produtividade final. Também se destaca o potencial de utilização de drones para a recolha de imagens, permitindo uma resolução mais elevada (com pixéis mais pequenos) e, conseqüentemente, uma maior precisão na avaliação do estado da cultura em diferentes momentos do ciclo.

Outra linha de investigação com grande relevância será o estudo da variabilidade intra-parcela, através do recurso a ferramentas de agricultura de precisão e à georreferenciação dos dados recolhidos em campo. Esta abordagem permitirá identificar diferenças dentro da mesma parcela e aplicar estratégias de gestão diferenciada, otimizando a aplicação de água, fertilizantes e outros insumos agrícolas. Para além de melhorar a eficiência produtiva, esta prática poderá contribuir para uma agricultura mais sustentável e adaptada à realidade de cada talhão.

A combinação destas estratégias poderá reforçar significativamente a capacidade de prever a produtividade com maior fiabilidade e adaptar as práticas agrícolas a cada contexto específico, promovendo uma gestão mais eficiente e informada da cultura do tomate de indústria.

6. Referências bibliográficas

- Aggelopoulou, K. D., Wulfsohn, D., Fountas, S., Gemtos, T. A., Nanos, G. D., & Blackmore, S. (2010). Spatial variation in yield and quality in a small apple orchard. *Precision Agriculture*, 11(5). <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9146-9>
- AGROMAIS – Entrepósito Comercial Agrícola, C.R.L. (s.d.). Tomate de indústria. Consultado em dezembro de 2022, de <https://www.agromais.pt/pt/produtos/produtos-e-culturas/tomate-de-industria/>
- Bhandari, A. K., Kumar, A., & Singh, G. K. (2012). *Feature extraction using normalized difference vegetation index (NDVI): A case study of Jabalpur City*. *Procedia Technology*, 6, 612–621. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.10.074>
- Bhar, A., Kumar, R., Qi, Z., & Malone, R. (2020). Coordinate descent based agricultural model calibration and optimized input management. *Computers and Electronics in Agriculture*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105353>
- Boote, K. J., Jones, J. W., & Hoogenboom, G. (2018). Simulation of Crop Growth: CROPGRO Model. In *Agricultural Systems modelling and Simulation*. <https://doi.org/10.1201/9781482269765-18>
- Boote, K. J., Scholberg, J. M. S., & Jones, J. W. (2012). Improving the CROPGRO-Tomato Model for Predicting Growth and Yield Response to Temperature. In *HORTSCIENCE* (Vol. 47, Issue 8).
- Calado1987. (n.d.).
- Cardoso, E. F., Lopes, A. R., Dotto, M., Pirola, K., & Giarola, C. M. (2021). Phenological growth stages of Gaúcho tomato based on the BBCH scale. *Comunicata Scientiae*, 12. <https://doi.org/10.14295/CS.v12.3490>
- Cherlinka, V. (2020). *NDVI: O que é e como funciona na agricultura de precisão*. EOS Data Analytics. Consultado em janeiro de 2025, de <https://eos.com/blog/ndvi/>
- Dourado-Neto, D., Teruel, D. A., Reichardt, K., Nielsen, D. R., Frizzone, J. A., & Bacchi, O. S. (1998). *Principles of crop modeling and simulation: i. Uses ... Sci. Agric principles of crop modeling and simulation: i. Uses of mathematical models in agricultural science*.
- Elsayed, M., Medany, M., Hoogenboom, G., Bona, S., & Sambo, P. (2012). Evaluation of the DSSAT CSM-CROPGRO-tomato simulation model for processing tomato (*Lycopersicon*

- esculentum Mill.) production in northern Italy. *Acta Horticulturae*, 936, 423–428. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.936.56>
- Elsayed, M., Medany, M., Hoogenboom, G., Rinaldi, M., Bona, S., & Sambo, P. (2017). Assessment of transplanting date influence on processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) production using the Cropping System Model (CSM)-CROPGRO-Tomato simulation model. A case study for northeastern Italy. *Egyptian Journal of Soil Science*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.504.1067>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). *FAOSTAT – Base de dados estatísticos* [Base de dados]. Consultado em dezembro de 2024, de <https://www.fao.org/faostat/>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.d.). *Tomato*. FAO Land & Water. Consultado em dezembro de 2022, de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/tomato/en/>
- Gabinete de Planeamento e Políticas. (2013). *Ficha de internacionalização: Tomate para indústria* [PDF]. Consultado em dezembro de 2022, de <https://www.gpp.pt/images/gam/1/fi/TomateFI.pdf>
- Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. In *Journal of Forestry Research* (Vol. 32, Issue 1). Northeast Forestry University. <https://doi.org/10.1007/s11676-020-01155-1>
- Hunt, R. (1990). Relative growth rates. In *Basic Growth Analysis*. https://doi.org/10.1007/978-94-010-9117-6_3
- Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I. P. (2025). *Setor do tomate: Estatísticas (dados de contratação)*. Consultado em julho de 2025, de <https://www.ifap.pt/portal/estatisticas-setor-do-tomate>
- Johansen, K., Morton, M. J. L., Malbeteau, Y., Aragon, B., Al-Mashharawi, S., Ziliani, M., Angel, Y., Fiene, G., Negroao, S., Mousa, M. A. A., Tester, M. A., & McCabe, M. F. (2019). Predicting biomass and yield at harvest of salt-stressed tomato plants using uav imagery. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2/W13). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-407-2019>

- Jongschaap, R. E. E. (2006). Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area index and canopy nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 24(4). <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.009>
- Kastanozem -Mexico, H., & Gaistardo, C. (n.d.). *Copies of FAO publications can be requested from: Cover photographs (left to right): Ekranic Technosol-Austria (©Erika Michéli) Reductaquic Cryosol-Russia (©Maria Gerasimova) Ferralic Nitisol-Australia (©Ben Harms) Pellic Vertisol-Bulgaria (©Erika Michéli) Albic Podzol-Czech Republic (©Erika Michéli)*.
- Kersebaum, K. C., Boote, K. J., Jorgenson, J. S., Nendel, C., Bindi, M., Frühauf, C., Gaiser, T., Hoogenboom, G., Kollas, C., Olesen, J. E., Rötter, R. P., Ruget, F., Thorburn, P. J., Trnka, M., & Wegehenkel, M. (2015). Analysis and classification of data sets for calibration and validation of agro-ecosystem models. *Environmental Modelling and Software*, 72, 402–417. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.05.009>
- Khatua, R., Panneerselvam, S., Geethalakshmi, V., Kumar M., & Jeyakumar, P. (2023). Calibration and Validation of DSSAT (CROPGRO) Model for Winter Irrigated Cotton in Coimbatore, Tamil Nadu, India. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(22), 752–760. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i224187>
- Koller, M., & Upadhyaya, S. K. (2005). Prediction of processing tomato yield using a crop growth model and remotely sensed aerial images. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 48(6). <https://doi.org/10.13031/2013.20072>
- Lark, R. M., & Stafford, J. V. (2015). *Consistency And Change In Spatial Variability Of Crop Yield Over Successive Seasons: Methods Of Data Analysis*. <https://doi.org/10.2134/1996.precisionagproc3.c14>
- Makario, S. (2019). *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*. EOS Data Analytics. Consultado em janeiro de 2025, de <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>
- Matthews, R. B., & Stephens, W. (Eds.). (2002). *Crop–soil simulation models: Applications in developing countries*. CABI Publishing.
- Meier, U., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Heß, M., Lancashire, P. D., Schnock, U., Stauß, R., van den Boom, T., Weber, E., Zwerger, P., & Peter Zwerger, C. (2009). The BBCH system to coding the phenological growth stages of plants-history and publications-Das BBCH-System zur Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien von Pflanzen-Geschichte und Veröffentlichungen. In *JOURNAL FÜR KULTURPFLANZEN* (Issue 2).

- Moura, B. (2013, 18 de setembro). *Tomate de indústria – práticas culturais*. Agroportal. Consultado em dezembro de 2022, de <https://www.agroportal.pt/tomate-de-industria-praticas-culturais-bruno-moura/>
- Muntean, N., Chawdhery, R. A., Potopová, V., & Turkott, L. (2021). The ability of CROPGRO-Tomato model to simulate the growth characteristics of Thomas F1 tomato cultivar grown under open field conditions. *Journal of Agricultural Science*, 159(7–8). <https://doi.org/10.1017/S0021859621000770>
- Oteng-Darko, P., Yeboah, S., Addy, S. N. T., Amponsah, S., & Danquah, E. O. (2013). Crop modeling: A tool for agricultural research-A review. *E3 Journal of Agricultural Research and Development*, 2(1), 1–006. <http://www.e3journals.org>
- Parametros_de_calidad_en_el_tomate_para*. (n.d.).
- Passioura, J. B. (n.d.). (1996) *Simulation Models: Science, Snake Oil, Education, or Engineering?* (AJ).
- Patanè, C., Cosentino, S. L., Romano, D., & Toscano, S. (2022). Relative Water Content, Proline, and Antioxidant Enzymes in Leaves of Long Shelf-Life Tomatoes under Drought Stress and Rewatering. *Plants*, 11(22). <https://doi.org/10.3390/plants11223045>
- Pathak, T. B., & Stoddard, C. S. (2018). Climate change effects on the processing tomato growing season in California using growing degree day model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 765–775. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0460-y>
- Scholberg, J. M. S., Boote, K. J., Jones, J. W., & Mcneau, B. L. (1997). *Adaptation of the CROPGRO model to simulate the growth of field-grown tomato*.
- Sinclair, T. R., & Seligman, N. G. (1996). Crop modeling: From infancy to maturity. *Agronomy Journal*, 88(5), 698–704. <https://doi.org/10.2134/agronj1996.00021962008800050004x>
- Tomato News. (2020). *Portugal: review of twenty-five years of tomato harvests*. Tomato News. Consultado em dezembro de 2022, em <https://www.tomatonews.com/portugal-review-of-twenty-five-years-of-tomato-harvests/>
- Trucano, T. G., Swiler, L. P., Igusa, T., Oberkampf, W. L., & Pilch, M. (2006). Calibration, validation, and sensitivity analysis: What's what. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(10–11), 1331–1357. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2005.11.031>
- Van Evert, F. K., & Campbell, G. S. (n.d.). (1994) *CropSyst: A Collection of Object-Oriented Simulation Models of Agricultural Systems* (AJ).

- Wallach, D. (2011). Crop model calibration: A statistical perspective. *Agronomy Journal*, 103(4), 1144–1151. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0432>
- Wallach, D., Palosuo, T., Thorburn, P., Hochman, Z., Gourdain, E., Andrianasolo, F., Asseng, S., Basso, B., Buis, S., Crout, N., Dibari, C., Dumont, B., Ferrise, R., Gaiser, T., Garcia, C., Gayler, S., Ghahramani, A., Hiremath, S., Hoek, S., ... Seidel, S. J. (2021). The chaos in calibrating crop models: Lessons learned from a multi-model calibration exercise. *Environmental Modelling and Software*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105206>
- Weiber, E., Bleiholder, H., Buhr, L., Feller, C., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., & Van den Boom, T. (1996). Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de especies mono- y dicotiledóneas cultivadas. Escala BBCH extendida. *Compendio Para La Identificación de Los Estadios Fenológicos de Especies Mono- y Dicotiledóneas Cultivadas Escala BBCH Extendida*.
- Whisler, F. D., Acock, ' B, Baker, D. N., Fye, R. E., Hodges, H. F., Lambert, J. R., Lemmon, H. E., Mckinion, J. M., & Reddy3, V. R. (1986). CROP SIMULATION MODELS IN AGRONOMIC SYSTEMS. In *ADVANCES IN AGRONOMY* (Vol. 40).
- White, N., & Jovicich, E. (2012). *Processing Tomato Production in the Burdekin Opportunities & Risks for Growers 1,2*.
- Woodward, F. I., & Hunt, R. (1980). Plant Growth Analysis. *The Journal of Applied Ecology*, 17(2). <https://doi.org/10.2307/2402348>
- Xue, L., Cao, W., Luo, W., Dai, T., & Zhu, Y. (2004). Monitoring Leaf Nitrogen Status in Rice with Canopy Spectral Reflectance. *Agronomy Journal*, 96(1). <https://doi.org/10.2134/agronj2004.0135>
- zalom1999. (n.d.).

7. Anexos

Anexo 7. 1 - Quadro resumo dos tratamentos de herbicida realizados na parcela agrícola no período entre 29 de abril a 26 de maio de 2023.

Data	DAP	Nome do produto	Substância ativa	kg/ha	L/ha
29/04/2023	17	Eclipse	Metribuzina 70%	0,250	
29/04/2023	17	Wish Top	Quizalofope-P-etilo 12%		0,500
10/05/2023	28	Eclipse	Metribuzina 70%	0,250	
10/05/2023	28	Wish Top	Quizalofope-P-etilo 12%		0,500
26/05/2023	44	Eclipse	Metribuzina 70%	0,250	
26/05/2023	44	Wish Top	Quizalofope-P-etilo 12%		0,500

Anexo 7. 2 - Quadro resumo dos tratamentos de fungicida realizados na parcela agrícola no período entre 21 de maio a 18 de julho de 2023.

Data	DAP	Nome do produto	Substância ativa	Kg/ha	L/ha
21/05/2023	39	Actlet C	Cobre 17.1% + Metalaxil -M 2,3%		3,500
02/06/2023	51	Melody	Flope 56% + Iprovalicarbe 9%	1,300	
12/06/2023	61	Carial Top	Difenoconazol 21,8% + Mandipropamide 21,8%		0,600
12/06/2023	61	Kocide Opti	30% Hidroxido	1,500	
22/06/2023	71	Ortiva Top	Azoxistrobina 18% + Difenoconazol 11,3%		1,000
03/07/2023	82	Milraz PRO	Cimoxanil 33% + Zoxamida 33%	0,450	
03/07/2023	82	Douro	Penconazol 10,23%		1,000
18/07/2023	97	Kocide Opti	Hidroxido de Cobre 30%	2,000	
18/07/2023	97	Douro	Penconazol 10,23%		1,000

Anexo 7. 3 - Quadro resumo dos tratamentos de inseticida realizados na parcela agrícola no período entre 21 de maio a 18 de julho de 2023.

Data	DAP	Nome do produto	Substância ativa	Kg/ha	L/ha
21/05/2023	39	Cythrín Max	47,46% Cipermetrina		0,100
21/05/2023	39	Alverde	Metaflumizona 22,1%		1,000
02/06/2023	51	Affirm	Emamectina 8,5%	1,500	
02/06/2023	51	Cythrín	Cipermetrina 10,9%		0,500
12/06/2023	61	Ampligo	Clorantniliprol 9,6% + Lambda-Cialotrina 4,63%		0,200

12/06/2023	61	Boreal	Abamectina 1,89%	1,000
22/06/2023	71	Ampligo	Clorantraniliprol 9,6% + Lambda-Cialotrina 4,63%	0,200
22/06/2023	71	Cal-EX	Abamectina 1,89%	1,000
03/07/2023	82	Alverde	Metaflumizona 22,1%	1,000
03/07/2023	82	Ninja	Lambda-cialotrina 9,5%	0,200
03/07/2023	82	Shirudo	Tebufenpirade 20%	1,000
18/07/2023	97	Ampligo	Clorantraniliprol 9,6% + Lambda-Cialotrina 4,63%	0,200
18/07/2023	97	Laota	Abamectina 1,89%	1,000

Anexo 7. 4 - Quadro resumo das aplicações diárias de adubo líquido, entre 24 de abril e 16 de julho.

Data	DAP	L/ha de Adubo	Adubo	N (kg/ha)	P2O5 (kg/ha)	K2O (kg/ha)	Densidade do adubo (kg/L)
24/04/2023	12	28,90	6-0-3	2,06	-	1,03	1,19
25/04/2023	13	27,20	8.3-0-0	3,12	-	-	1,38
29/04/2023	17	28,90	6-0-3	2,06	-	1,03	1,19
30/04/2023	18	27,20	8.3-0-0	3,12	-	-	1,38
05/05/2023	23	28,90	6-0-3	2,06	-	1,03	1,19
06/05/2023	24	27,20	8.3-0-0	3,12	-	-	1,38
11/05/2023	29	28,90	6-0-3	2,06	-	1,03	1,19
12/05/2023	30	27,20	8.3-0-0	3,00	-	-	1,38
13/05/2023	31	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
17/05/2023	35	22,10	19-4-4	5,12	1,08	1,08	1,22
18/05/2023	36	28,90	6-0-3	2,06	-	1,03	1,19
20/05/2023	38	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
21/05/2023	39	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
22/05/2023	40	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
23/05/2023	41	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
24/05/2023	42	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
25/05/2023	43	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
26/05/2023	44	28,90	19-4-4	6,70	1,41	1,41	1,22
27/05/2023	45	25,50	6-0-3	1,82	-	0,91	1,19
29/05/2023	47	22,10	19-4-4	5,12	1,08	1,08	1,22
30/05/2023	48	25,50	6-0-3	1,82	-	0,91	1,19
31/05/2023	49	22,10	19-4-4	5,12	1,08	1,08	1,22
01/06/2023	50	25,50	19-4-4	5,91	1,24	1,24	1,22
02/06/2023	51	23,80	6-0-3	1,70	-	0,85	1,19
03/06/2023	52	24,65	19-4-4	5,71	1,20	1,20	1,22
04/06/2023	53	23,80	19-4-4	5,52	1,16	1,16	1,22
05/06/2023	54	25,50	19-4-4	5,91	1,24	1,24	1,22
06/06/2023	55	23,80	19-4-4	5,52	1,16	1,16	1,22
07/06/2023	56	25,50	19-4-4	5,91	1,24	1,24	1,22
08/06/2023	57	25,50	19-4-4	5,91	1,24	1,24	1,22
09/06/2023	58	23,80	19-4-4	5,52	1,16	1,16	1,22
10/06/2023	59	17,00	19-4-4	3,94	0,83	0,83	1,22

12/06/2023	61	21,25	19-4-4	4,93	1,04	1,04	1,22
13/06/2023	62	21,25	19-4-4	4,93	1,04	1,04	1,22
14/06/2023	63	17,00	19-4-4	3,94	0,83	0,83	1,22
16/06/2023	65	21,25	19-4-4	4,93	1,04	1,04	1,22
17/06/2023	66	21,25	19-4-4	4,93	1,04	1,04	1,22
18/06/2023	67	17,00	19-4-4	3,94	0,83	0,83	1,22
20/06/2023	69	21,25	19-4-4	4,93	1,04	1,04	1,22
21/06/2023	70	17,00	19-4-4	3,94	0,83	0,83	1,22
22/06/2023	71	17,00	19-4-4	3,94	0,83	0,83	1,22
24/06/2023	73	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
26/06/2023	75	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
28/06/2023	77	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
29/06/2023	78	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
30/06/2023	79	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
02/07/2023	81	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
04/07/2023	83	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
06/07/2023	85	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
07/07/2023	86	31,45	6-3-9	2,30	1,15	3,45	1,22
09/07/2023	88	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
10/07/2023	89	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
11/07/2023	90	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
12/07/2023	91	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
13/07/2023	92	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
14/07/2023	93	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
15/07/2023	94	15,30	0-0-15	-	-	2,82	1,23
16/07/2023	95	16,15	0-0-15	-	-	2,98	1,23
Total				207,93	43,88	95,16	