

ROMILDA MIGUEL DE BRITO XAVIER

**BIOESTIMULANTE SUSTENTÁVEL DE FOLHAS DE TOMATEIRO ANÃO:  
AVALIAÇÃO METABOLÔMICA E EFEITO EM MUDAS DE ALFACE POR  
IMAGENS RGB**

MONTE CARMELO – MG  
MINAS GERAIS – BRASIL

2025

ROMILDA MIGUEL DE BRITO XAVIER

**BIOESTIMULANTE SUSTENTÁVEL DE FOLHAS DE TOMATEIRO ANÃO:  
AVALIAÇÃO METABOLÔMICA E EFEITO EM MUDAS DE ALFACE POR  
IMAGENS RGB**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do  
Programa de Pós-graduação em Agricultura e  
informações Geoespaciais para obtenção do título  
de “Mestre”.

Orientadora: Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli

Coorientador: Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel

MONTE CARMELO – MG

MINAS GERAIS – BRASIL

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

X3 2025	<p>Xavier, Romilda Miguel de Brito, 1976- Bioestimulante sustentável de folhas de tomateiro anão: avaliação metabolômica e efeito em mudas de alface por imagens RGB [recurso eletrônico] / Romilda Miguel de Brito Xavier. - 2025.</p> <p>Orientadora: Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli. Coorientador: Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. Modo de acesso: Internet. DOI <a href="http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.14">http://doi.org/10.14393/ufu.di.2026.14</a> Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Agronomia. I. Siquieroli, Dra. Ana Carolina Silva, 1982-, (Orient.). II. Maciel, Dr. Gabriel Mascarenhas, 1982-, (Coorient.). III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais. IV. Título.</p> <p>CDU: 631</p>
------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:  
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091  
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações  
Geoespaciais  
Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000  
Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	17/12/2025	Hora de início:	14h	Hora de encerramento:	15h21mim
Matrícula do Discente:	32312AIG014				
Nome do Discente:	Romilda Miguel de Brito Xavier				
Título do Trabalho:	Bioestimulante sustentável de folhas de tomateiro anão: perfil metabolômico e avaliação digital em mudas de alface				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas Integrados de Produção Vegetal				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Biotecnologia e desenvolvimento sustentável com a participação da sociedade				

Reuniu-se em sala virtual a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, composta pela prof.<sup>a</sup> Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli (Universidade Federal de Uberlândia-UFU), orientadora da candidata, prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Universidade Federal de Uberlândia-UFU), e Prof.<sup>a</sup> Dra. Joicy Vitória Miranda Peixoto (Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu à discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir a senhora presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Carolina Silva Siquieroli, Professor(a) do Magistério Superior**, em 17/12/2025, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Joicy Vitória Miranda Peixoto, Usuário Externo**, em 17/12/2025, às 15:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Bezerra de Araujo Gallis, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/01/2026, às 15:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6948702** e o código CRC **A527CF54**.

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus e à minha família, em especial ao meu Pai Izaqueu Augusto Miguel e à minha Mãe Maria das Mercês Barbosa Miguel.

A Deus pela vida e por sempre estar guiando meus caminhos, me direcionando em momentos que eu não poderia saber qual a melhor decisão tomar.

A minha orientadora, Professora Ana Carolina Silva Siquieroli pela orientação e todo apoio.

Ao meu coorientador, Professor Gabriel Mascarenhas Maciel pelos direcionamentos e incentivo.

Aos amigos do grupo GENHORT (técnicos de laboratório e alunos) que me auxiliaram na condução e avaliação do experimento. Ao Sr. “Zé” da Horta pelos cuidados na irrigação das mudas de alface.

A Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais pela estrutura disponibilizada para os estudos e condução da pesquisa, a todos os professores do curso, aos técnicos e demais funcionários.

Muito obrigado a todos!!

## **BIOGRAFIA**

Romilda Miguel De Brito Xavier, nasceu em 28 de julho de 1976 na cidade de Paracatu MG. Passou a maior parte da infância na zona rural, quando seus pais escolheram ir para a cidade de Guarda Mor – MG. Seu ensino médio foi cursado na Escola Estadual Antônio Ribeiro em Guarda Mor, e, após esta etapa foi cursar o ensino superior em Geografia na modalidade em EAD na cidade de Lagamar – MG concluindo sua graduação no ano de 2013. Logo em seguida, foi aprovada para cursar Pedagogia na modalidade em EAD na cidade de Paracatu-MG pelo Instituto Federal do Norte de Minas Gerais e no ano de 2021 formou-se como pedagoga. Após sua formação, iniciou sua vida profissional como docente sempre buscando oportunidades e evolução pessoal e profissional, atuando como servidora pública no município de Guarda Mor em escolas como APAE. Em março de 2023, iniciou seu curso de mestrado no Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais na Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
INTRODUÇÃO.....	1
MATERIAL E MÉTODOS.....	3
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	8
CONCLUSÕES .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17



## RESUMO

XAVIER, ROMILDA MIGUEL DE BRITO. **BIOESTIMULANTE SUSTENTÁVEL DE FOLHAS DE TOMATEIRO ANÃO: AVALIAÇÃO METABOLÔMICA E EFEITO EM MUDAS DE ALFACE POR IMAGENS RGB.** 2025, 21 páginas. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) – Universidade Federal de Uberlândia, *Campus Monte Carmelo*, Minas Gerais, Brasil<sup>1</sup>

Práticas de produção vegetal que reduzam o uso excessivo de produtos químicos são fundamentais para a agricultura sustentável. O extrato de folhas de tomateiro anão, ricas em metabólitos secundários, surge como alternativa promissora de bioestimulante em hortaliças. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial do extrato de folhas do genótipo anão UFU MC TOM1 como bioestimulante sustentável em mudas de alface por imagens RGB, além de identificar os metabólitos presentes na folha por cromatografia gasosa-espectrometria de massa. O experimento foi conduzido em condições controladas em câmara de teste de pulverização utilizando mudas de alface produzidas em bandejas e submetidas a três pulverizações com extratos vegetais de dois genótipos de tomateiro (UFU MC TOM1 e Santa Clara) em diferentes concentrações (50%, 75% e 100%). As avaliações incluíram massa fresca e seca, comprimento da parte aérea e das raízes. A aplicação do extrato de folhas do UFU MC TOM1 promoveu incrementos significativos na massa fresca e seca da alface, em todas concentrações analisadas. O comprimento da parte aérea também foi favorecido, com destaque para os tratamentos 75% e 100%, enquanto o comprimento de raiz e total da muda não apresentaram ganhos consistentes. A análise multivariada confirmou o maior desempenho dos extratos do UFU MC TOM1 e as imagens RGB corroboraram os resultados manuais. A caracterização metabolômica revelou maior abundância de aminoácidos, carboidratos e ácidos carboxílicos no UFU MC TOM1, com destaque para L-serina, L-erytrulose, adenina e ureia, reforçando seu potencial como bioestimulante natural e sustentável para sistemas agrícolas.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum* L., *Lactuca sativa* L., agricultura sustentável, fenotipagem, metabólitos, CG-MS.

---

<sup>1</sup>Orientadora: Prof. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli - UFU

## ABSTRACT

XAVIER, ROMILDA MIGUEL DE BRITO. **SUSTAINABLE BIO-STIMULANT FROM DWARF TOMATO LEAVES: METABOLOMIC EVALUATION AND EFFECT ON LETTUCE SEEDLINGS THROUGH RGB IMAGING**. 2025, 21 pages. Dissertation (Master in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, *Campus* Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil<sup>1</sup>

Plant production practices that reduce the excessive use of chemical inputs are essential for sustainable agriculture. Dwarf tomato leaf extract, characterized by its richness in secondary metabolites, represents a promising sustainable bio-stimulant for vegetable crops. This study aimed to evaluate the potential of leaf extract from the dwarf tomato genotype UFU MC TOM1 as a sustainable biostimulant in lettuce seedlings using RGB image analysis, as well as to identify the metabolites present in the leaves by gas chromatography–mass spectrometry. The experiment was conducted under controlled conditions in a spray test chamber, using lettuce seedlings grown in trays and subjected to three spray applications of leaf extracts from two tomato genotypes (UFU MC TOM1 and Santa Clara) at different concentrations (50%, 75%, and 100%), with distilled water as the control. Evaluations included fresh and dry mass, shoot length, and root length. Application of UFU MC TOM1 leaf extract promoted significant increases in fresh and dry mass, especially at concentrations of 50%, 75%, and 100%. Shoot length was also favored, particularly in the 75% and 100% treatments, while root length and total seedling length did not show consistent gains. Multivariate analysis confirmed the superior performance of UFU MC TOM1 extracts, and RGB image analysis corroborated the manual measurements. Metabolomic characterization revealed higher abundance of amino acids, carbohydrates, and carboxylic acids in UFU MC TOM1 compared to Santa Clara, with emphasis on L-serine, L-erythrulose, adenine, and urea, reinforcing its potential as a natural and sustainable biostimulant for agricultural systems.

**Key words:** *Solanum lycopersicum* L., *Lactuca sativa* L., sustainable agriculture, phenotyping, metabolites, CG-MS.

---

<sup>1</sup>Advisor: Prof. Dr. Ana Carolina Silva Siquieroli - UFU

## INTRODUÇÃO

Os extratos vegetais naturais são fontes promissoras de bioestimulantes devido à sua composição rica e diversificada (Dilla et al., 2024). Esses extratos contêm hormônios promotores de crescimento e metabólitos que podem potencializar as funções fisiológicas das plantas (Rodríguez-Castro et al., 2020). Podem servir como fertilizantes orgânicos contendo altas quantidades de compostos bioativos que estimulam o crescimento das plantas sem efeitos adversos, aumentando a eficiência nutricional, a tolerância ao estresse abiótico, a qualidade da colheita e a produtividade (Du Jardin, et al 2015; Sardar et al. 2021).

Práticas de produção vegetal que evitem o uso excessivo de produtos químicos e permitam o uso de produtos naturais, como bioestimulantes naturais, são essenciais para a agricultura sustentável (Godlewska et al., 2019). As culturas hortícolas, como a alface (*Lactuca sativa* L.) que é uma das folhosas mais produzidas e consumidas no mundo (Hassan et al., 2021), normalmente requerem uma grande quantidade de fertilizantes e pesticidas. Em geral, a maioria dos agroquímicos causa efeitos prejudiciais ao solo e à água, além de afetar a saúde da população humana (Lee et al., 2017). O aumento dos custos também é um forte incentivo econômico para reduzir os insumos e simplificar o manejo das plantas, atendendo a demanda dos consumidores por alimentos sustentáveis, seguros e saudáveis (Vermeir et al., 2025).

A horticultura orgânica é um sistema de produção ecologicamente correto, capaz de produzir alimentos com danos mínimos aos ecossistemas (Stirk et al., 2014). Tem-se posicionado como uma das principais estratégias emergentes para aumentar a produção agrícola e a resiliência às mudanças climáticas. Os bioestimulantes vegetais de fontes naturais oferecem para estes sistemas uma abordagem potencialmente inovadora para a regulação de processos fisiológicos em plantas (Kumari et al., 2013).

Os principais grupos de bioestimulantes vegetais são os hidrolisados de proteínas e outros compostos nitrogenados, ácido húmico, ácido fúlvico, extratos de algas marinhas, quitosana e compostos inorgânicos (Pangestuti et al., 2015). A eficácia dos bioestimulantes é influenciada por diversos fatores, incluindo a espécie vegetal de origem, a concentração aplicada e a metodologia de extração empregada (Han et al., 2024). O desenvolvimento de bioestimulantes a partir de fontes de resíduos ou subprodutos de plantas, como folhas, apresenta vantagens como baixos custos (Xu e Geelen, 2018). Nesse sentido, é necessária a busca por novas fontes de bioestimulantes vegetais para potencializar a prática agrícola sustentável.

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) apresenta elevada importância no setor agrícola mundial (Ronga et al., 2021). Desde 2015, vem sendo conduzidos estudos com um genótipo de

tomateiro anão atípico identificado ao acaso em uma população de ocorrência espontânea (Maciel et al., 2015). O fenótipo anão (UFU MC TOM1) é uma manifestação do gene *d*, sendo que genótipos recessivos homozigotos condicionam plantas com porte anão. Esta característica torna possível sua exploração em programas de melhoramento genético. Caracteriza-se por ser uma planta com altura aproximada de 30,0 cm, hábito de crescimento indeterminado e folhas espessas de coloração verde escuro. Os frutos são vermelhos tipo grape, pesando em média 10g. Diversos estudos demonstraram que o genótipo UFU MC TOM1 possui altos teores de acilaçúcar nas folhas, um metabólito secundário que atua como um alomônio para os artrópodes (Gomes et al., 2021; Gomes et al., 2022; Oliveira et al., 2022; Oliveira et al., 2024; Maciel et al., 2024; Maciel et al., 2025), sendo um dos principais responsáveis por induzir resistência de pragas em tomates (Marinke et al., 2022; Resende et al., 2022).

O genótipo de tomateiro anão é promissor ao ser utilizado como parental doador em programas de melhoramento de tomateiro (Oliveira et al., 2024; Pereira et al., 2024; Mattos et al., 2025; Ribeiro et al., 2025). Todos esses estudos acrescentaram informações importantes a respeito dos metabólitos altamente expressos no genótipo UFU MC TOM1, o nos leva a buscar elucidar suas possíveis aplicações como bioestimulante vegetal.

O fenótipo vegetal é uma descrição quantitativa das características resultantes da interação entre o genótipo e o ambiente (Li et al., 2020) podendo ser usado para monitorar a planta ainda em estágios iniciais. A agricultura moderna utiliza a fenotipagem digital para analisar a estrutura das plantas e implementar um controle fechado, visando o manejo agrícola preciso e padronizado (Li et al., 2021; Simbeye DS et al., 2023). Nesse sentido, imagens RGB são amplamente utilizadas (Gibbs et al., 2018).

A utilização do extrato de folhas de tomateiro anão pode oferecer soluções inovadoras para os desafios enfrentados pelos agricultores no desenvolvimento de uma agricultura sustentável e de qualidade. No entanto, ainda são escassos estudos que demonstrem o potencial da sua aplicação como bioestimulante vegetal em hortaliças folhosas. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial do extrato vegetal de folhas de tomateiro anão como bioestimulante sustentável em mudas de alface avaliado de forma manual e por imagens RGB, além de identificar os metabólitos presentes nas folhas por cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS).

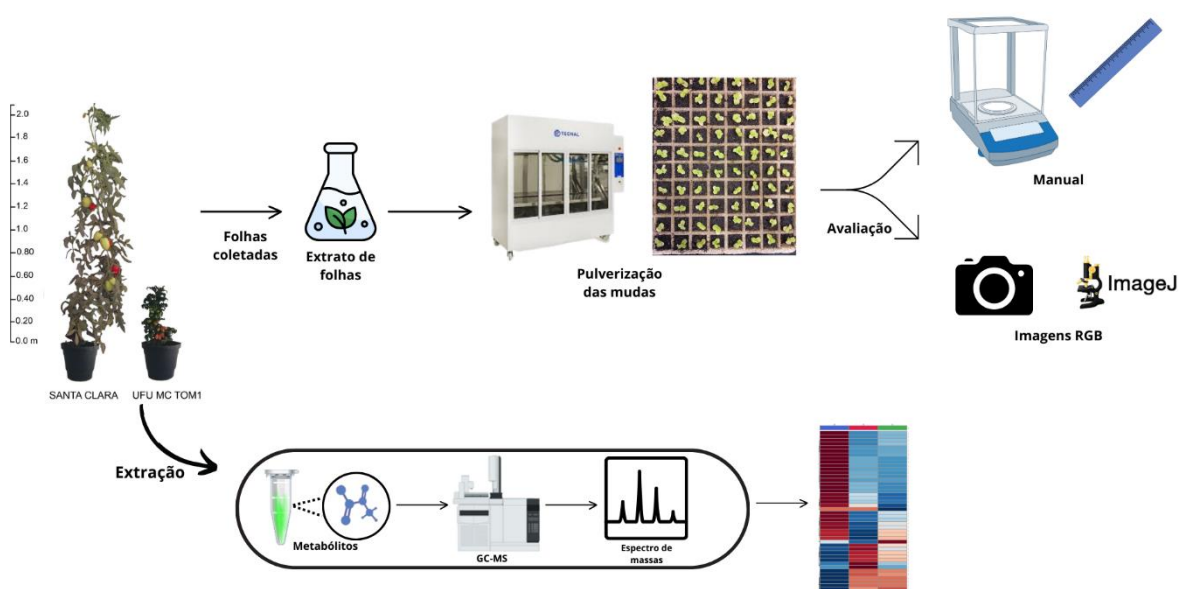
## MATERIAL E MÉTODOS

### *Locais de realização do experimento*

O experimento foi conduzido entre julho e agosto de 2024 na Estação Experimental de Hortaliças (EEH) que está localizada no Município de Monte Carmelo-MG (18° 42' 43,19" S, 47° 29' 55,8" O e 873 m de altitude), no Laboratório de Biotecnologia (LABIOTEC) e no Centro de Excelência em Mecanização Agrícola (CEMA) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo-MG, Brasil. As condições climáticas dentro do CEMA foram monitoradas durante os testes utilizando uma estação meteorológica automática (ITWH1080, Instrutemp, São Paulo, Brasil). A temperatura variou de 25,5 a 26,4 °C e a umidade relativa variou de 58% a 73%.

### *Obtenção do extrato de folhas de tomateiro*

Foi avaliado o potencial do extrato vegetal de folhas do tomateiro anão UFU MC TOM1 mantido no Banco de Germoplasma de Tomateiro da UFU, campus Monte Carmelo. Como controle foi utilizado extrato de folhas da cultivar comercial Santa Clara (Figura 1).



**Figura 1:** Fluxograma das etapas de avaliação do potencial do extrato vegetal de folhas de tomateiro anão (UFU MC TOM1) como bioestimulante sustentável em mudas de alfaces e

identificação dos metabólitos presentes nas folhas por cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS).

As sementes destes dois genótipos de tomateiro foram semeadas em bandejas de poliestireno (128 células). As mudas foram transplantadas 35 dias após a semeadura (DAS) para vasos plásticos com capacidade de 5 L. Foi utilizado substrato comercial à base de fibra de coco tanto nas bandejas quanto nos vasos. As plantas foram cultivadas em estufa tipo arco (7 x 21 m), com pé-direito de 4 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micrômetros com aditivo inibidor de radiação ultravioleta e cortinas laterais de tela branca antiofídica. Os tratamentos culturais foram realizados conforme recomendado para a cultura do tomate cultivada em ambiente protegido (Alvarenga, 2013).

Folhas frescas de cada genótipo foram coletadas manualmente, selecionando-se apenas aquelas sadias e livres de sintomas de doenças. Após a coleta, o material vegetal foi higienizado em água corrente e enxaguado com água destilada, sendo posteriormente triturado em liquidificador por 5 minutos em velocidade máxima com água destilada na proporção de 100 g de folhas frescas para 1 L de água, obtendo-se o extrato bruto (100%) (m/v). O material triturado foi mantido em repouso por 1 hora sob refrigeração (4–8 °C) para favorecer a extração dos compostos solúveis. Em seguida, o extrato foi filtrado em gaze dupla para remoção de partículas sólidas, resultando em uma solução homogênea.

A partir do extrato bruto, foram preparadas as diluições correspondentes às concentrações de 75 e 50%. Para a solução a 75%, utilizou-se a mistura de 750 mL do extrato 100% com 250 mL de água destilada. Para a solução a 50%, foram misturados 500 mL do extrato 100% com 500 mL de água destilada. Todas as soluções foram acondicionadas em frascos âmbar e mantidas sob refrigeração até o momento da aplicação, sendo utilizadas em até 48 horas após o preparo para evitar degradação dos compostos ativos.

#### *Análise cromatográfica e perfil metabolômico do tecido foliar*

Amostras de folíolos frescos (n = 6) coletadas da porção média das plantas do tomateiro anão UFU MC TOM1 e da cultivar comercial Santa Clara foram trituradas com nitrogênio líquido em almofariz e pilão até a obtenção de um pó fino. Desse pó, 100 mg foram transferidos para microtubos e misturados com 2 mL de uma solução extratora composta por metanol (MeOH), clorofórmio (CHCl<sub>3</sub>) e água ultrapura (na proporção 3:1:1), contendo 50 µL/ mL de

Adonitol Purex como padrão interno. As amostras foram agitadas por 5 segundos em agitador vortex e deixadas em repouso por 1 minuto. Posteriormente, 1 mL do sobrenadante foi transferido para um novo microtubo e misturado com 300 µL de hexano (P.A.). As amostras foram deixadas em repouso por 3 minutos e em seguida coletados 500 µL das porções intermediárias e colocados em microtubos para secagem em concentrador a 40 °C por 24 horas. Às amostras secas foram adicionados 50 µL de cloridrato de metoxiamina diluído em piridina (20 mg/mL) a 37 °C. Após 2 horas, foram adicionados 50 µL de BSTFA (Bis(trimetilsilil)trifluoroacetamida) e as amostras foram mantidas a 37 °C por 30 minutos.

As alíquotas derivatizadas dos extratos foram transferidas para frascos de 2 mL com insertos redutores de volume de 200 µL para análise cromatográfica. A análise foi realizada por cromatografia gasosa-espectrometria de massa não alvo (GCMS-QP2010, Shimadzu, Kyoto, Japão), utilizando uma coluna capilar DB-5MS (30 m × 250 µm de diâmetro interno). Um padrão de alcanos (C9-C30) foi utilizado para controle de qualidade e cálculos de índice de retenção. A identificação do composto foi realizada usando a Biblioteca Espectral de Massa do NIST 2017, com foco em compostos com acertos superiores a 85% de similaridade e valores m/z correspondentes.

#### *Avaliação do potencial dos extratos vegetais como agentes bioestimulantes*

Mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) da cultivar comercial Grand Rapids foram produzidas em bandejas de poliestireno expandido, preenchidas com substrato comercial à base de fibra de coco. As bandejas foram mantidas em estufa tipo arco (5 x 6 m), com pé-direito de 3 m, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micrômetros com aditivo inibidor de radiação ultravioleta e cortinas laterais de tela branca antiofídica até atingirem o estágio de quatro folhas definitivas, momento em que se iniciaram os ensaios de pulverização dos extratos. Foram realizadas três pulverizações realizadas em intervalos de sete dias.

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com sete tratamentos e quatro blocos, sendo cada repetição composta por 100 mudas, totalizando 28 parcelas. Os tratamentos consistiram na aplicação de extratos vegetais obtidos de folhas de dois genótipos de tomateiro (UFU MC TOM1 e Santa Clara), preparados em três concentrações (50%, 75% e 100%). Como testemunha foi utilizada água destilada, totalizando sete tratamentos.

A aplicação foi realizada em uma câmara de pulverização modelo TE9000 (Tecnal, Piracicaba, SP, Brasil) (Figura 1). Cada bandeja com 100 mudas foi posicionada no interior da

câmara, na altura de 0,5 metros, a pressão de trabalho foi 502 kPa, velocidade de 6 km h<sup>-1</sup> e taxa de aplicação de 100 L ha<sup>-1</sup>, utilizando a ponta hidráulica de jato plano TT 110 01 (TeeJet Technologies, Glendale Heights, Illinois, EUA).

A uniformidade da pulverização foi avaliada por meio de papéis hidrossensíveis distribuídos em pontos estratégicos da bandeja, permitindo quantificar a deposição e a distribuição das gotas. Após a pulverização, as bandejas foram mantidas em estufa para evitar contaminações externas e permitir absorção dos tratamentos.

Sete dias após a terceira pulverização, foram selecionadas dez mudas centrais de cada parcela para avaliação, a fim de reduzir efeitos de bordadura e garantir maior representatividade da amostra. As mudas de alface foram cuidadosamente retiradas das bandejas e submetidas à lavagem em água corrente para remoção do substrato, preservando sua integridade. As variáveis mensuradas foram: massa fresca (FW) – obtida em balança analítica de precisão, obtendo-se o valor da massa fresca individual; massa seca (DW) – as mudas foram acondicionadas em sacos de papel e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas. Decorrido esse período, o material foi novamente pesado em balança analítica, obtendo-se a massa seca individual; comprimento da parte aérea (AL) – medido do colo da muda até o ápice da última folha expandida, utilizando régua milimetrada; comprimento das raízes (RL) – determinado do colo da muda até a extremidade da raiz principal, também com régua milimetrada; comprimento total da muda (Total) – obtido pela soma do comprimento da parte aérea e do comprimento das raízes.

#### *Fenotipagem das mudas por meio de imagens RGB*

As mesmas mudas de alface avaliadas manualmente foram dispostas individualmente sobre fundo contrastante (preto fosco) para facilitar a distinção entre a muda e fundo durante a captura das imagens.

As imagens foram obtidas por meio da câmera digital RGB com resolução de 50 Mp, posicionada em tripé fixo posicionado a uma altura de 40 cm e sob iluminação difusa controlada, garantindo uniformidade e evitando sombras ou reflexos. As fotografias foram obtidas em formato padrão (.jpg) com resolução mínima de 300 dpi, assegurando qualidade suficiente para análise morfológica.

As imagens foram posteriormente submetidas ao software ImageJ v. 1.54m (Schneider et al., 2012), que permite a análise quantitativa de estruturas vegetais por meio de



processamento digital. O processamento incluiu a calibração da escala de medida por meio de régua milimetrada posicionada junto às mudas durante a captura; e segmentação das imagens feita por meio de ajuste de contraste e binarização para destacar a parte aérea e o sistema radicular. A partir das imagens, foram extraídos parâmetros como comprimento de parte aérea por imagem (AL) e comprimento da raiz por imagem (RL). O comprimento total da muda por imagem (Total) foi obtido pela soma do comprimento da parte aérea e do comprimento das raízes.

### *Análises estatísticas*

A verificação das premissas foi realizada por meio da análise de homogeneidade de variância (teste de Levene), normalidade (teste de O'Neil-Mathews) e aditividade de blocos (teste de Tukey). Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F ( $p < 0,05$ ) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott ( $p < 0,05$ ). As médias foram obtidas e apresentadas em Box-plots.

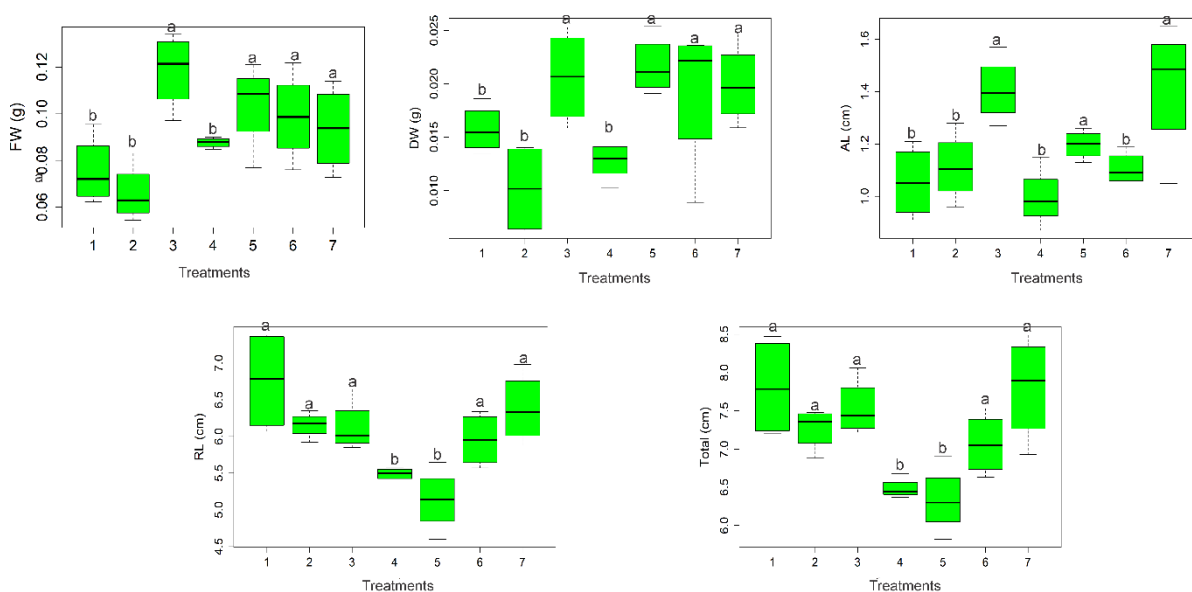
Os dados foram submetidos à análise multivariada para caracterizar a dissimilaridade entre tratamentos e variáveis por meio de dendograma de mapa de calor. A matriz de dissimilaridade foi obtida pela distância de Mahalanobis e a dissimilaridade genética foi representada pelo dendograma obtido pelo método hierárquico de pares não ponderados utilizando médias aritméticas (UPGMA). A contribuição relativa dos caracteres avaliados foi calculada segundo os critérios de Singh (1981).

A similaridade entre os tratamentos em função das variáveis foi analisada com a técnica de Redes Neurais Artificiais (RNA) utilizando o Mapa Auto-organizável de Kohonen (SOM). Diferentes arranjos de neurônios foram testados:  $2 \times 2$ ,  $3 \times 3$ ,  $4 \times 2$  e  $2 \times 5$  — sendo o primeiro arranjo escolhido para a classificação. A topologia utilizada foi hexagonal e baseada na distância euclidiana para a formação de clusters.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R v. 4.2.1 (R Core Team, 2025).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos sete tratamentos analisados quanto ao potencial de atuarem como bioestimulante no desenvolvimento de mudas de alface, os tratamentos 3 (Santa Clara, 75%), 5 (UFU MC TOM1, 50%), 6 (UFU MC TOM1, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%) ocasionaram incrementos significativos na massa fresca das mudas em comparação aos demais e a testemunha ( $p < 0,05$ ). O mesmo comportamento foi observado para massa seca (Figura 2).

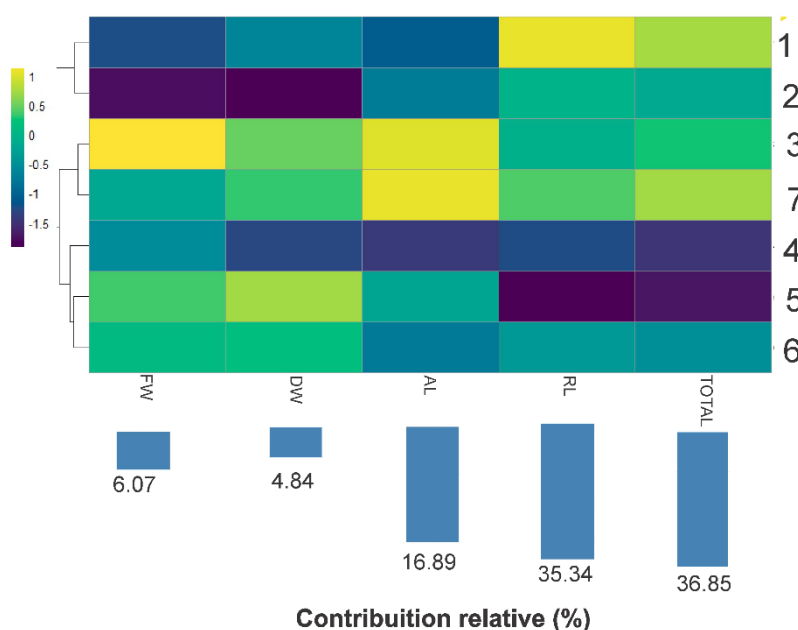


**Figura 2:** Médias referentes a massa fresca (FW), massa seca (DW), comprimento da parte aérea (AL), comprimento da raiz (RL) e comprimento total da muda (Total). 1: Testemunha, 0%; 2: Santa Clara, 50%; 3: Santa Clara, 75%; 4: Santa Clara, 100%; 5: UFU MC TOM1, 50%; 6: UFU MC TOM1, 75%; 7: UFU MC TOM1, 100%. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0.05 de significância.

Para comprimento de parte aérea, houve destaque para o tratamento 7 (UFU MC TOM1, 100%) (1,42 cm) que ocasionou um aumento de 1,33 vezes em relação a testemunha (1,06 cm). Em adição, os tratamentos 3 (Santa Clara, 75%) e 5 (UFU MC TOM1, 50%), também ocasionaram incremento significativo para esta característica (1,41 e 1,20 cm, respectivamente). Diferentemente ocorreu para a variável comprimento de raiz e comprimento total da muda, onde os tratamentos 2 (Santa Clara, 50%), 3 (Santa Clara, 75%), 6 (UFU MC TOM1, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%) foram semelhantes a testemunha e os tratamentos 4 (Santa Clara, 100%) e 5 (UFU MC TOM1, 50%) ocasionaram uma redução nos comprimentos mensurados. Este comportamento pode ser influenciado pela forma de aplicação do extrato nas mudas, sendo

pulverizado diretamente na parte aérea em condições controladas utilizando a câmara de teste de pulverização. Desta forma, como o primeiro contato do extrato foi com a folha, o efeito mais expressivo seria neste tecido, como demonstrado pelos resultados. De acordo com Han et al. (2024), a eficácia dos bioestimulantes é influenciada por diversos fatores, como a concentração aplicada e a metodologia empregada.

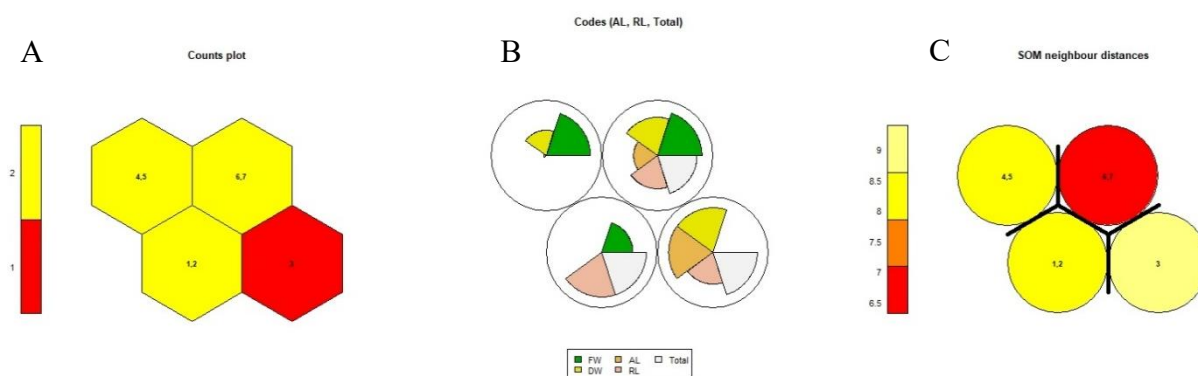
O dendrograma representou a dissimilaridade genética entre a origem e as concentrações dos extratos, obtido pelo método UPGMA (Figura 3). A porção interna do dendrograma foi visualizada como um mapa de calor, com as cores mais claras (amareladas) indicando uma maior resposta do tratamento à variável em estudo. A análise multivariada dos sete tratamentos avaliados demonstrou a formação de três grupos distintos com o primeiro constituído pelos tratamentos 1 (Testemunha, 0%) e 2 (Santa Clara 50%); o segundo constituído pelos tratamentos 3 (Santa Clara, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%); e o último grupo pelo tratamento 4 (Santa Clara, 100%), 5 (UFU MC TOM1, 50%) e 6 (UFU MC TOM1, 75%).



**Figura 3:** Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre os genótipos de tomateiro e doses do extrato, obtido pelo método UPGMA. Massa fresca (FW), massa seca (DW), comprimento da parte aérea (AL), comprimento da raiz (RL) e comprimento total da muda (Total). 1: Testemunha, 0%; 2: Santa Clara, 50%; 3: Santa Clara, 75%; 4: Santa Clara, 100%; 5: UFU MC TOM1, 50%; 6: UFU MC TOM1, 75%; 7: UFU MC TOM1, 100%.

Para as variáveis massa fresca e massa seca os tratamentos 3 (Santa Clara, 75%), 5 (UFU MC TOM1, 50%) foram os que mais se destacaram. Para comprimento de arte aérea, os tratamentos 3 (Santa Clara, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%) ocasionaram maior incremento. O comprimento de parte aérea contribuiu com 16,89% para a dissimilaridade genética enquanto o comprimento de raiz contribuiu 35,34%, e o comprimento total da muda foi responsável pela maior contribuição relativa da divergência entre os tratamentos, com 36,85% da variabilidade total.

A análise do comportamento dos extratos e concentrações usando o SOM permitiu a observação da alocação de tratamentos em cada neurônio, a influência de cada variável em cada neurônio, a distância entre neurônios vizinhos e o agrupamento de distâncias com base no método UPGMA (Figura 4).

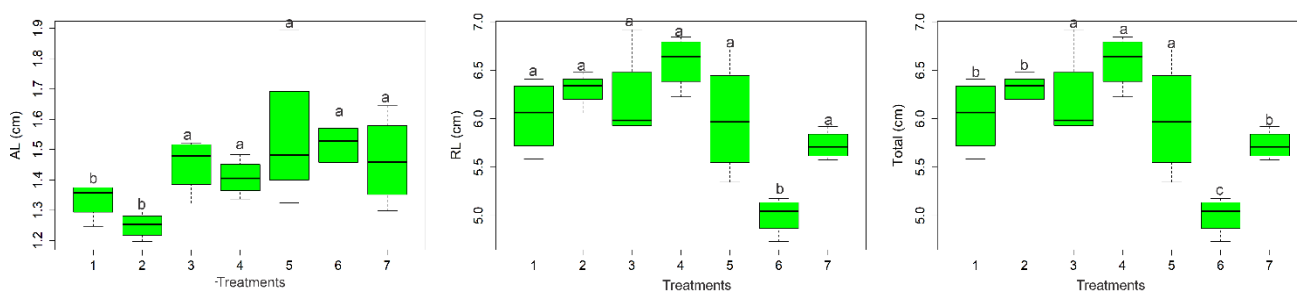


**Figura 4:** (A): Classificação dos tratamentos em função do número de neurônios. (B): Representação dos neurônios e a magnitude de influência das variáveis. (C): Distâncias dos vizinhos mais próximos e clusterização dos neurônios com base no método UPGMA em função das distâncias. Massa fresca (FW), massa seca (DW), comprimento da parte aérea (AL), comprimento da raiz (RL) e comprimento total da muda (Total). 1: Testemunha, 0%; 2: Santa Clara, 50%; 3: Santa Clara, 75%; 4: Santa Clara, 100%; 5: UFU MC TOM1, 50%; 6: UFU MC TOM1, 75%; 7: UFU MC TOM1, 100%.

Os tratamentos 6 (UFU MC TOM1, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%) alocaram-se no mesmo neurônio e se destacaram para todas as características avaliadas (Figura 4A e 4B). Este também foi o grupo que mais se distanciou dos demais, representado pela cor vermelha distinta dos outros neurônios, resultante da análise de agrupamento hierárquico utilizando o método UPGMA.

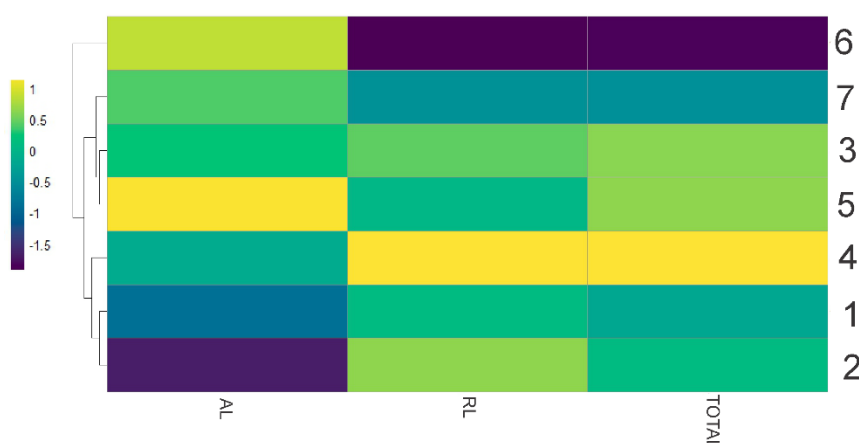
Os métodos de agrupamento hierárquico são amplamente utilizados em estudos sobre dissimilaridade. Apesar das informações importantes fornecidas por esses métodos eles podem ter algumas limitações (Pereira et al., 2024). O uso de Mapas Auto-organizáveis de Kohonen é mais robusto e possui maior capacidade de processamento (Kohonen, 2014). Assim, os resultados aqui apresentados demonstram o potencial de bioestimulantes no desenvolvimento de mudas de alface do extrato de folhas do genótipo UFU MC TOM1 nas concentrações de 75% e 100%. O efeito observado no crescimento da parte aérea das mudas se deve a uma interação complexa de mecanismos fisiológicos e morfogenéticos, mediados por metabólitos secundários altamente reativos (Ramírez-Pérez et al., 2025).

As imagens das mudas analisadas software ImageJ permitiu a análise quantitativa de estruturas vegetais por meio de processamento digital. A mensuração da parte aérea da muda demonstrou maior destaque para o tratamento 5 (UFU MC TOM1, 50%), que mostrou ser 1,15 vezes superior à testemunha ( $p < 0,05$ ). O mesmo comportamento não foi observado para comprimento de raiz e comprimento total de mudas (Figura 5).



**Figura 5:** Médias referentes a comprimento da parte aérea (AL), comprimento da raiz (RL) e comprimento total da muda (Total) obtidas por ImageJ. 1: Testemunha, 0%; 2: Santa Clara, 50%; 3: Santa Clara, 75%; 4: Santa Clara, 100%; 5: UFU MC TOM1, 50%; 6: UFU MC TOM1, 75%; 7: UFU MC TOM1, 100%. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0.05 de significância.

Da mesma forma, o dendrograma representou a dissimilaridade genética entre os efeitos dos diferentes extratos mensurados por imagens RGB, obtido pelo método UPGMA (Figura 6). A porção interna do dendrograma foi visualizada como um mapa de calor, com as cores mais amareladas indicando uma maior resposta do tratamento à variável em estudo. Para a característica comprimento da parte aérea obtida por imagens RGB e processadas pelo ImageJ os tratamentos 5 (UFU MC TOM1, 50%), 6 (UFU MC TOM1, 75%) e 7 (UFU MC TOM1, 100%) ocasionaram os maiores incrementos.

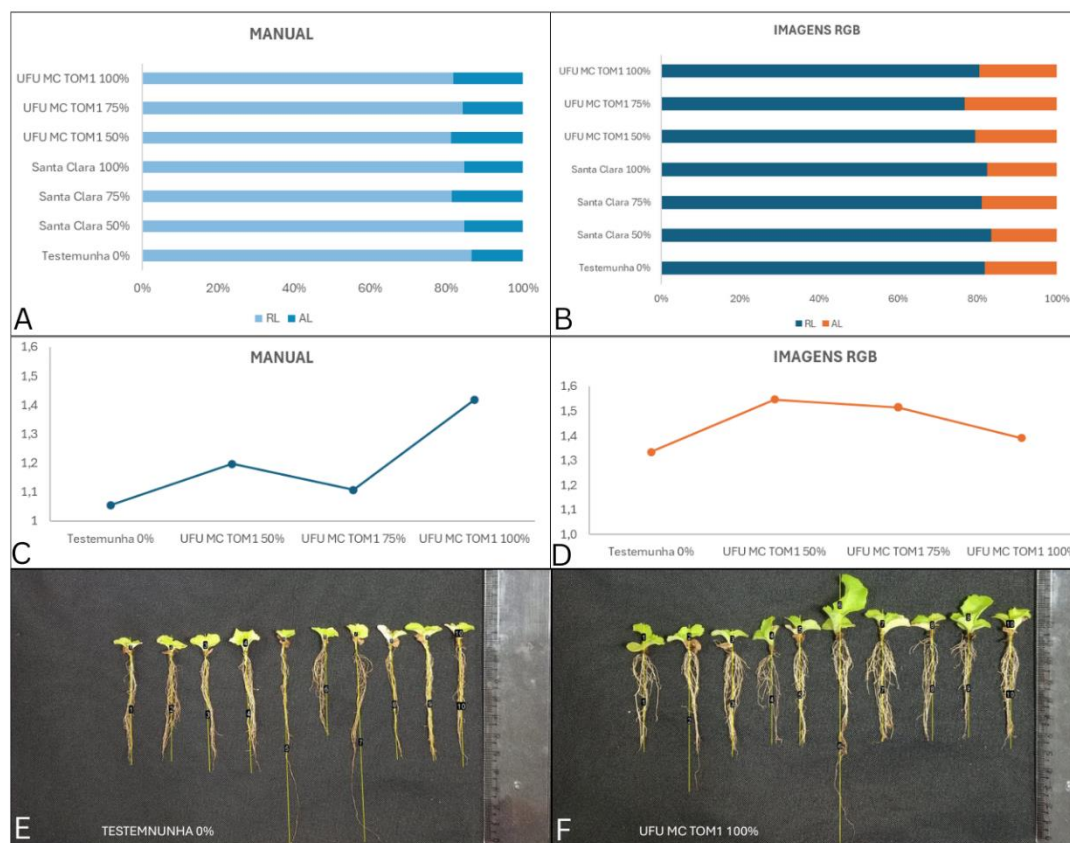


**Figura 6:** Dendrograma representativo da dissimilaridade genética entre os genótipos de tomateiro e doses do extrato, obtido pelo método UPGMA. Comprimento da parte aérea (AL), comprimento da raiz (RL) e comprimento total da muda (Total) obtidas por ImageJ. 1: Testemunha, 0%; 2: Santa Clara, 50%; 3: Santa Clara, 75%; 4: Santa Clara, 100%; 5: UFU MC TOM1, 50%; 6: UFU MC TOM1, 75%; 7: UFU MC TOM1, 100%.

Estudo de Ramírez-Pérez et al. (2025) avaliaram o efeito de extratos das plantas semiáridas *Rhus virens*, *R. muelleri* e *Jatropha dioica* como bioestimulantes para promover o crescimento radicular e da parte aérea de mudas de duas variedades de pimenta e demonstraram atividade bioestimulante nas mudas, promovendo crescimento radicular e aéreo significativo em bandejas sob condições de estufa. Assim como no presente estudo, esses achados sugerem que extratos de plantas podem possuir alto potencial como bioestimulantes botânicos naturais, oferecendo uma alternativa sustentável e eficaz aos produtos comerciais na promoção do crescimento radicular e aéreo.

A partir do destaque dos tratamentos com extrato de folhas do tomateiro anão UFU MC TOM1 observado na análise multivariada, procedeu-se com a comparação entre os comprimentos de parte aérea e de raiz mensurados manualmente e por imagens RGB, após processamento no ImageJ (Figuras 7A e 7B). Observa-se a distribuição percentual das variáveis RL e AL entre os diferentes tratamentos, evidenciando variações significativas na resposta das mudas ao uso dos extratos vegetais. Observa-se que os tratamentos com extrato do genótipo UFU MC TOM1, especialmente nas concentrações de 50% e 75%, apresentaram maior proporção de AL. Esses resultados indicam que a composição dos extratos influencia

diretamente o padrão de resposta das mudas, possivelmente refletindo diferenças na composição bioquímica entre os genótipos.



**Figura 7:** Efeitos dos extratos vegetais provenientes dos genótipos UFU MC TOM1 e Santa Clara sobre o desenvolvimento de mudas de alface. (A) Distribuição percentual das variáveis RL e AL entre os diferentes tratamentos (UFU MC TOM1 100, 75 e 50%; Santa Clara 100, 75 e 50%; e testemunha 0%), mensurados de forma manual. (B) Distribuição percentual das variáveis RL e AL entre os tratamentos, mensurados de forma automatizada por imagens RGB. (C) Avaliação do crescimento da parte aérea por dois métodos distintos: e avaliação manual (linha azul) e (D) análise automatizada por imagens RGB (linha laranja). (E) Registro por imagens RGB das mudas submetidas a testemunha 0%. (F) Registro por imagens RGB das mudas submetidas a UFU MC TOM1 100%, ilustrando visualmente os efeitos dos extratos sobre o seu desenvolvimento.

As Figuras 7C e 7D destacam os efeitos dos extratos do UFU MC TOM1 sobre o crescimento da parte aérea das mudas, avaliados por dois métodos distintos. Na avaliação manual (Figura 7C) observou-se que a concentração de 100% foi a que mais estimulou o desenvolvimento da parte aérea da muda. Por outro lado, na análise automatizada por imagens

RGB (Figura 7D), o destaque foi para a concentração de 50%, que apresentou os maiores valores médios. Essa divergência pode ser atribuída às diferenças metodológicas: enquanto a análise por imagem considera parâmetros morfológicos contínuos e padronizados, a avaliação manual está sujeita à percepção visual e à sensibilidade do observador, podendo captar aspectos específicos do vigor ou da arquitetura das plantas (Hart, 2024; Maraveas, 2024).

A comparação das imagens RGB das mudas submetidas aos diferentes tratamentos, evidenciou visualmente os efeitos dos extratos sobre o crescimento vegetal. As mudas submetidas ao extrato UFU MC TOM1 100% (Figura 7F) apresentam maior desenvolvimento da parte aérea e o desenvolvimento de raízes secundárias em comparação às mudas submetidas a testemunha 0% (Figura 7E). Essa representação visual reforça os dados quantitativos obtidos nas análises anteriores, demonstrando o potencial bioestimulante do extrato vegetal do tomateiro anão sobre o desenvolvimento das mudas de alface.

Ao comparar o perfil metabólico das folhas do tomateiro anão UFU MC TOM1 e da cultivar comercial Santa Clara por meio de GC-MS, observou-se um aumento significativo na expressão de alguns aminoácidos, carboidratos, ácidos carboxílicos, adenina, glicerol e ureia no genótipo anão (significância a 1% pelo teste t) (Tabela 1).

**Tabela 1:** Principais metabólitos foliares com alta expressão detectados por cromatografia gasosa-espectrometria de massa no genótipo anão UFU MC TOM1 em comparação com a cultivar comercial Santa Clara. FC: fold change (medida quantitativa de variação relativa na abundância de metabólitos).

Metabólitos	FC	<i>p</i> -value (0,01%)	Vias metabólicas <sup>1</sup>
<b>Aminoácidos</b>			
L-serina	6.245	3.93E-09	Metabolismo de aminoacil-tRNA, enxofre, esfingolipídeos, ácido cianoamino, cisteína, metionina, glicina, treonina, glioxalato, dicarboxilato
L-Treonina	2.195	9.75E-03	Metabolismo de aminoacil-tRNA, valina, leucina, isoleucina, glicina, serina
<b>Carboidratos</b>			
D-galactopiranosídeo	2.214	7.32E-05	Metabolismo da galactose e polissacarídeos estruturais de parede celular
L-erytrulose	7.337	8,82E-01	Metabolismo de ácido ascórbico (vitamina C) e de pentoses
L-iditol (sorbitol)	2.157	1.86E-07	Metabolismo de açúcares-álcoois e biossínteses de osmoprotetores



Mio-inositol	1.501	2.45E-06	Metabolismo de galactose, ascorbato e aldarato, inositol fosfato, sistema de sinalização fosfatidilinositol
<b>Ácidos carboxílicos</b>			
Ácido butanóico	2.185	5.96E-04	Metabolismo de butanoato
Ácido dodecanóico	1.96	4.74E-06	Biossíntese de ácidos graxos
<b>Outros</b>			
Adenina	34.583	4.78E-09	Metabolismo de purina, zeatina
Glicerol	1.977	1.80E-04	Metabolismo de galactose, glicerolípideo
Ureia	6.928	1.17E-05	Metabolismo de purina, arginina

<sup>1</sup>Pathway library: *Arabidopsis thaliana* (thale cress), KEGG (Out. 2025).

Estes metabólitos estão envolvidos em diversas vias metabólicas com funções importantes no metabolismo vegetal. Dentre eles pode-se destacar o metabolismo do aminoácido L-serina que está envolvido com a síntese de outros aminoácidos, síntese de proteínas, produção de compostos antioxidantes e na regulação da homeostase celular (Rosa-Téllez et al., 2023; Porras-Dominguez et al., 2024). A treonina também participa da rota de biossíntese de outros aminoácidos e está envolvida com o metabolismo energético e mecanismos de adaptação a condições de deficiência nutricional e estresse oxidativo (Alencar et al., 2025).

Para carboidratos, destacou-se o D-galactopiranosídeo que está envolvido na síntese de polissacarídeos da parede celular (pectinas, hemiceluloses) e glicoproteínas (PlantCyc, 2025); a L-erytrulose que participa da regulação osmótica e pode atuar como precursor em rotas de síntese de compostos secundários (Huang et al., 2025); L-iditol (sorbitol) que atua na biossíntese de osmoprotetores em resposta a estresse hídrico (Kim et al., 2020); e mio-inositol que participa da síntese de fosfolípidios de membrana, parede celular, hormônios e moléculas de defesa, além de ter papel crucial em respostas a estresses abióticos (Murthy et al., 2000; Mukhia et al., 2022).

Entre os ácidos carboxílicos tem-se expressão elevada para ácidos graxos de cadeia curta como o ácido butanóico (ácido butírico) que é intermediário do metabolismo energético e pode atuar como molécula sinalizadora em resposta as estresses bióticos (Damodaran & Strader, 2019); e o ácido dodecanóico (ácido láurico) que é um componente estrutural de membrana e cutina, contribuindo para barreiras físicas contra perda de água e patógenos, além de participar do metabolismo energético (Funk et al., 2017).

Por fim, destaca-se os metabólitos adenina, que é uma base nitrogenada que compõe nucleotídeos, coenzimas (NADH, FAD), sinalizadores celulares (cAMP) e a principal molécula energética (ATP) (Watson, 2025); glicerol, que é um precursor de glicerol-3-fosfato (G3P),

essencial para síntese de glicerolipídios, integra fosfolipídeos de membrana e atua como intermediário energético (Novaes et al., 2024); e a ureia, uma fonte eficiente de nitrogênio que impacta no crescimento, fotossíntese e produtividade quando usada como fertilizante (Aguilar et al., 2025). Devido ao seu alto teor de N (46%), torna-se muito vantajosa quando aplicada nas folhas, podendo suprir a demanda de N quando a capacidade de extração pelas raízes é reduzida (Ali, 2015).

O aumento da expressão de aminoácidos, carboidratos, ácidos carboxílicos e metabólitos com destaque para L-serina, L-erytrulose, adenina e ureia no tomateiro anão UFU MC TOM1 evidencia a relevância dessas moléculas como metabólicos essenciais, conectando síntese de proteínas, energia, estrutura celular e mecanismos de defesa. Estes metabólitos apresentaram elevados fold change (FC), o que significa que a abundância do metabólito no tomateiro anão UFU MC TOM1 foi 6,2, 7,3, 34,6 e 6,9, respectivamente, vezes maior que na cultivar comercial Santa Clara. Os resultados reforçam o potencial do extrato vegetal deste genótipo como bioestimulante vegetal, favorecendo o crescimento da parte aérea das mudas e ampliando sua capacidade de adaptação e produtividade.

Apesar dos avanços alcançados, novas investigações são necessárias para ampliar a compreensão dos efeitos do extrato. Recomenda-se avaliar de forma detalhada o desenvolvimento de raízes secundárias, realizar experimentos em vasos e em condições de campo para validar sua eficácia em cenários agrícolas reais, e testar sua aplicação em outras espécies hortícolas. Além disso, a aplicação direta do extrato no substrato deve ser explorada, permitindo verificar possíveis efeitos sobre o sistema radicular e a absorção de nutrientes. Essas abordagens poderão confirmar o extrato de folhas do tomateiro anão UFU MC TOM1, como alternativa sustentável e eficaz aos insumos convencionais.

## CONCLUSÕES

O extrato de folhas do tomateiro anão UFU MC TOM1 demonstrou potencial como bioestimulante sustentável, promovendo incrementos significativos na massa fresca, massa seca e comprimento da parte aérea de mudas de alface, especialmente nas concentrações de 50%, 75% e 100%.

A análise metabolômica revelou maior abundância de aminoácidos, carboidratos e metabólitos-chave como L-serina, L-erytrulose, adenina e ureia, reforçando sua relevância no metabolismo vegetal e na promoção do crescimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, M. B.; Girard, R. M. B. M.; Crispim, M.; Baptista, C. G.; Biran, M.; Bringaud, F.; Silber, A. M. The role of L-serine and L-threonine in the energy metabolism and nutritional stress response of *Trypanosoma cruzi*. *mSphere*, v.10, n.3, p.22, 2025. <https://doi.org/10.1128/msphere.00983-24>
- Ali, N. Review: Nitrogen utilization features in cotton crop. *American Journal of Plant Sciences*, v.6, p.987–1002, 2015. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.670106>.
- Alvarenga, M. A. R. *Tomate: Produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia*. Lavras: Editora UFLA, 455 p., 2013.
- Aguilar, J. V.; Lapaz, A. M.; Bomfim, N. C. P.; Mendes, T. F. S.; Souza, L. A.; Furlani Júnior, E.; Camargos, L. S. Photosynthetic Performance and Urea Metabolism After Foliar Fertilization with Nickel and Urea in Cotton Plants. *Agriculture*, v.15, p.699, 2025. <https://doi.org/10.3390/agriculture15070699>
- Damodaran, S.; Strader, L. C. Indole-3-Butyric Acid Metabolism and Transport in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, v.10, 2019. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00851>
- Dilla, A. I.; Noli, Z. A.; Mansyurdin, M. An overview: plant extract as biostimulant. *IJPSAT*, v.46, p.01, 2024. <https://doi.org/10.52155/ijpsat.v46.1.6462>
- Du Jardin, P. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, v.196, p.3-14, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Funk, I.; Rimmel, N.; Schorsch, C.; Sieber, V.; Schmid, J. Production of dodecanedioic acid via biotransformation of low cost plant-oil derivatives using *Candida tropicalis*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, v.44, n.10, p.1491–1502, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10295-017-1972-6>
- Gibbs, J. A.; Pound, M.; French, A. P.; Wells, D. M.; Murchie, E.; Pridmore, T. Plant Phenotyping: An Active Vision Cell for Three-Dimensional Plant Shoot Reconstruction. *Plant Physiology*, v.178, n.2, p.524-534, 2018. <https://doi.org/10.1104/pp.18.00664>
- Godlewska, K.; Biesiada, A.; Michalak, I.; Pacyga, P. The effect of plant-derived biostimulants on White head cabbage seedlings grown under controlled conditions. *Sustainability*, v.11, p.5317, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11195317>
- Gomes, D. A.; Machado, T. G.; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Oliveira, C. S.; Sousa, L. A.; Silva, H. P. Dwarf Tomato Plants Allow for Managing Agronomic Yield Gains with Fruit Quality and Pest Resistance through Backcrossing. *Agronomy-Basel*, v.12, p.3087, 2022.
- Gomes, D. A.; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Oliveira, C. S.; Finzi, R. R.; Marques, D. J. Selection of BC1F3 populations of Santa Cruz type dwarf tomato plant by computational intelligence techniques. *Bragantia*, v.80, p.1, 2021.

Han, M.; Kasim, S.; Yang, Z.; Deng, X.; Saidi, N. B.; Uddin, M. K.; Shuib, E. M. Plant extracts as biostimulant agents: a promising strategy for managing environmental stress in sustainable agriculture. *Phyton*, v.93, p.2149-2166, 2024.

<https://doi.org/10.32604/phyton.2024.054009>

Hart, T. C. The value of education, training and experience to improve the accuracy of identification: a commentary on 'Inter- and intra-observer variation in phytolith morphometry'. *Annals of Botany*, mcae194, 2024. <https://doi.org/10.1093/aob/mcae194>

Hassan, M. N.; Mekkawy, S. A.; Mahdy, M.; Salem, K. F. M.; Tawfik, E. Recent molecular and breeding strategies in lettuce (*Lactuca* spp.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, v.68, p.3055-3079, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01246-w>

Huang, L. G.; Xiao, B. W.; Wang, W. J.; et al. Multiplex modification of *Yarrowia lipolytica* for enhanced erythritol biosynthesis from glycerol through modularized metabolic engineering. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v.46, p.1351–1363, 2023.

<https://doi.org/10.1007/s00449-023-02906-0>

Kim, H. U. Lipid Metabolism in Plants. *Plants*, v.9, n.871, 2020.

<https://doi.org/10.3390/plants9070871>.

Kohonen, T. *Implementações e aplicações do mapa auto-organizável em MATLAB*. Helsinki: Unigraphia Oy, 2014. 201 p.

Kumari, P.; Kumar, M.; Reddy, C. R. K.; Jha, B. Algal lipids, fatty acids and sterols. *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*, p.87-134, 2013.

<https://doi.org/10.1533/9780857098689.1.87>

Lee, W. K.; Lim, Y. Y.; Leow, A. T. C.; Namasivayam, P.; Abdullah, J. O.; Ho, C. L. Biosynthesis of agar in red seaweeds: A review. *Carbohydrate Polymers*, v.164, p.23-30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.078>

Li, Z.; Guo, R.; Li, M.; Chen, Y.; Li, G. A review of computer vision technologies for plant phenotyping. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.176, 105672, 2020.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105672>

Li, Y.; Wu, X.; Xu, W.; Sun, Y.; Wang, Y.; Li, G.; Xu, P. High-Throughput physiology-based stress response phenotyping: Advantages, applications and prospective in horticultural plants. *Horticultural Plant Journal*, v.7, n.3, p.181-187, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.09.004>

Maciel, G. M.; Oliveira, C. S. de; Siquieroli, A. C. S.; Pereira, L. M.; Ribeiro, A. L. A.; Pinto, F. G.; Ikehara, B. R. M.; Silva, N. C. Q.; Farias, A. K. S. R. New insights into the use of dwarf tomato plants for pest resistance. *Bragantia*, v.83, e20240066, 2024.

<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20240066>

Maciel, G. M.; Silva, E. C.; Fernandes, M. A. R. Dwarfism occurrence in tomato plant type grape. *Revista Caatinga*, v.28, n.4, p.259-264, 2015.

- Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Silva, N. C. Q.; Ribeiro, A. L. A.; Carvalho, V. A. M.; Mendonça, H. A.; Luz, J. M. Q.; Neto, A. C. G.; Oliveira, C. S. Combining agronomic performance and pest resistance in Santa Cruz-type dwarf tomato germplasm. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v.25, e52562537, 2025. <https://doi.org/10.1590/1984-70332025v25n3a37>
- Maraveas, C. Image Analysis Artificial Intelligence Technologies for Plant Phenotyping: Current State of the Art. *AgriEngineering*, v.6, n.3, p.3375–3407, 2024. <https://doi.org/10.3390/agriengineering6030193>
- Marinke, L. S.; et al. Selection of tomato genotypes with high resistance to *Tetranychus evansi* mediated by glandular trichomes. *Phytoparasitica*, v.50, p.629-643, 2022. <https://doi.org/10.1007/s12600-022-00986-7>
- Mattos, T. P.; Maciel, G. M.; Ribeiro, A. L. A.; Oliveira, C. S. de; Siquieroli, A. C. S.; Silva, N. C. Q.; Pinto, F. G.; Ikehara, B. R. M. Enhancing fruit quality and stress resilience: Genetic advancements in dwarf tomato populations. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.47, e72614, 2025. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v47i1.72614>
- Mukhia, R.; Chhetri, D. R. Myo-inositol and its metabolites in abiotic stress tolerance in plants. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, v.18, n.4, p.48–63, 2022.
- Murthy, P. Myo-inositol metabolism in plants. *Plant Science*, p.1-19, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00150-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00150-8).
- Novaes, A. P. S.; Nascimento, F. S.; Rocha, A. J.; Soares, J. M. S.; Ramos, A. P. S.; Junior, L. C. S.; Rodrigues, A. S.; Mendes, T. A. O.; Rocha, L. S.; Amorim, E. P.; et al. Glycerol as an Inducer of Disease Resistance in Plants: A Systematic Review. *Horticulturae*, v.10, p.1368, 2024. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10121368>
- Oliveira, C. S. de; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Gomes, D. A.; Martins, M. P. C.; Finzi, R. R. Selection of F2RC1 saladette-type dwarf tomato plant populations for fruit quality and whitefly resistance. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.28-35, 2022.
- Oliveira, C. S. de; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Pinto, F. G.; Ikehara, B. R. M.; Pereira, L. M. Saladette-type dwarf tomato introgression lines with agronomic potential, improved fruit quality, and biotic stress tolerance. *Ciência e Agrotecnologia*, v.48, e002624, 2024. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202448002624>
- Pangestuti, R.; Kim, S. Seaweed proteins, peptides, and amino acids. *Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications*, p.125-140, 2015. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00006-4>
- Pereira, L. M.; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Luz, J. M. Q.; Ribeiro, A. L. A.; Oliveira, C. S. de; Pinto, F. G.; Ikehara, B. R. M. Introgression of the Self-Pruning Gene into Dwarf Tomatoes to Obtain Salad-Type Determinate Growth Lines. *Plants*, v.13, n.11, p.1522, 2024. <https://doi.org/10.3390/plants13111522>

PlantCyc - Metabolic Pathways Database for Plants. Available on: <<https://plantcyc.org/>>. Accessed on: Dez. 2025.

Porras-Dominguez, J.; Lothier, J.; Limami, A. M.; Tcherkez, G. D-amino acids metabolism reflects the evolutionary origin of higher plants. *Plant, Cell & Environment*. v.47, n.2, p.331–345, 2024. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/pce.14826>

Ramírez-Pérez, C.; Ramírez, H.; Carrillo-Lomelí, D. A.; Moo-Huchin, V. M.; Hernández-Pérez, A.; Peña-Ramos, F. M.; Encina-Domínguez, J. A.; Jasso de Rodríguez, D. Biostimulant from semi-desert plant extracts for root and aerial growth of *Capsicum annuum* L. and *C. chinense* Jacq. seedlings. *Industrial Crops and Products*, v.236, p.121881, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121881>

Resende, J. T. V.; et al. The introgression of resistance to *Tuta absoluta* in tomato based on glandular trichomes. *Arthropod-Plant Interactions*, v.16, p.87-99, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11829-021-09855-0>

Ribeiro, A. L. A.; Maciel, G. M.; Siquieroli, A. C. S.; Pinto, F. G.; Ikehara, B. R. M.; Jacinto, A. C.P.; Pereira, L. M.; Oliveira, C. S. de. Genotypic and environmental effects on morphoagronomic performance in tomato hybrids derived from dwarf male parental lines. *Ciência e Agrotecnologia*, v.49, e009025, 2025. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202549009025>

R Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 14 out. 2025.

Rodríguez-Castro, A.; Torres-Herrera, S.; Domínguez-Calleros, A.; Romero-García, A.; Silva-Flores, M. Extractos vegetales para el control de *Fusarium oxysporum*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, una alternativa sostenible para la agricultura. *Abanico Agrof*, v.2, p.1-13, 2020. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2020.7>

Ronga, D.; et al. Agronomic comparisons of heirloom and modern processing tomato genotypes cultivated in organic and conventional farming systems. *Agronomy*, v.11, p.349, 2021. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020349>

Rosa-Téllez, S.; Lüttge, U.; Cánovas, F. M.; Risueño, M. C.; Leuschner, C.; Pretzsch, H. *Serine Metabolic Networks in Plants*. In: **Progress in Botany**, v.84. Springer, Cham, 2023. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/124\\_2023\\_73](https://doi.org/10.1007/124_2023_73).

Sardar, H.; Nisar, A.; Anjum, M. A.; Naz, S.; Ejaz, S.; Ali, S.; Javed, M. S.; Ahmad, R. Foliar spray of moringa leaf extract improves growth and concentration of pigment, minerals and stevioside in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Industrial Crops and Products*, v.166, 113485, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113485>

Schneider, C. A.; Rasband, W. S.; Eliceiri, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, v.9, n.7, p.671–675, 2012. <https://doi.org/10.1038/nmeth.2089>

Simbeye, D. S.; Mkiramweni, M. E.; Karaman, B.; Taskin, S. Plant water stress monitoring and control system. *Smart Agricultural Technology*, v.3, 100066, 2023.  
<https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100066>

Singh, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, v.41, p.237–245, 1981.

Stirk, W. A.; Van Staden, J. Plant Growth Regulators in Seaweeds: Occurrence, Regulation and Functions. *Advances in Botanical Research*, v.71, p.125-159, 2014.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408062-1.00005-6>

Vermeir, I.; Verstraeten, J.; Geuens, M.; Roose, G.; Slabbinck, H.; Van Kerckhove, A. Consumer Segmentation in Healthy and Sustainable Food: Insights on Willingness to Change and Food Choices From a Scoping Review. *Reference Module in Food Science*, 2025.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29139-5.00044-6>

Xu, L.; Geelen, D. Desenvolvimento de bioestimulantes a partir de subprodutos agroalimentares e industriais. *Frontiers in Plant Science*, v.9, p.1567, 2018.

Watson, K. M. A novel molecular switch in plant growth: how adenosine kinase activity modulates plant development and growth pathways. *Journal of Experimental Botany*, v.76, n.12, p.3263–3266, 2025. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraf232>