

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

PEDRO HENRIQUE NEGRINI SILVA

ESTRESSE HÍDRICO INDUZIDO POR MANITOL EM SEMENTES DE HÍBRIDOS DE
TOMATEIRO ANÃO

Monte Carmelo
2026

PEDRO HENRIQUE NEGRINI SILVA

ESTRESSE HÍDRICO INDUZIDO POR MANITOL EM
SEMENTES DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO ANÃO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Agronomia da
Universidade Federal de Uberlândia,
Campus Monte Carmelo, como requisito
necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Odair José Marques

Monte Carmelo
2026

PEDRO HENRIQUE NEGRINI SILVA

ESTRESSE HÍDRICO INDUZIDO POR MANITOL EM GERMOPLASMA DE TOMATE
ANÃO

Trabalho de Conclusão de Curso ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Área de concentração: Agronomia

Monte Carmelo, 13 de fevereiro de 2026

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Odair José Marques (UFU)

Orientador

Profa. Dra. Ana Carolina Silva Siquieroli (UFU)

Membro da Banca

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel (UFSJ)

Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) – Campus Monte Carmelo pela formação acadêmica de qualidade e pelo ambiente de ensino e pesquisa proporcionado ao longo da graduação, fundamentais para o desenvolvimento científico, intelectual e profissional que possibilitou a realização deste trabalho.

Aos meus pais, Rogério Antônio da Silva e Marisa Negrini Silva, expresso minha sincera gratidão pelo apoio constante, incentivo e confiança ao longo de toda a trajetória acadêmica, elementos essenciais para a conclusão desta etapa.

Aos meus orientadores, Gabriel Mascarenhas Maciel e Odair José Marques, agradeço pela orientação, disponibilidade, dedicação e contribuições científicas ao longo do desenvolvimento deste trabalho. À técnica do Laboratório de Sementes, Camila Soares, registro meu agradecimento pelo suporte e auxílio durante as etapas experimentais. Ao meu amigo, Hugo Peres, agradeço pelas contribuições, acompanhamento e sugestões ao longo da execução da pesquisa.

Aos amigos Henrique Braga, Orlando Ribeiro, Vinicius Pereira e Henrique Scrideli, agradeço pela colaboração, parceria e apoio durante a condução do projeto, bem como pela oca de conhecimentos ao longo desse processo.

Por fim, agradeço a todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e para a consolidação da minha formação acadêmica.

SUMÁRIO

RESUMO	6
1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVO.....	8
3 REVISÃO DE LITERATURA	9
3.1 Melhoramento Genético do Tomateiro.....	9
3.2 Panorama da Tomaticultura Brasileira	10
3.3 Nanismo em Tomateiro.....	12
3.4 Estresse Hídrico em Tomateiro	12
4 MATERIAL E MÉTODOS	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
6 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS.....	22

RESUMO

O estresse hídrico por déficit de água é um dos principais fatores limitantes para a produção agrícola, especialmente em culturas sensíveis à disponibilidade de água, como o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.). A avaliação da tolerância à seca pode ser realizada de forma indireta a partir do uso de manitol nas fases iniciais do desenvolvimento, como a germinação. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o estresse hídrico induzido por manitol em sementes de híbridos de tomateiro anão. O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes e Recursos Genéticos da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, utilizando sementes da linhagem anã UFU MC TOM1, da cultivar comercial Santa Clara, do acesso silvestre *Solanum pennellii* LA0716 e de híbridos experimentais derivados do germoplasma anão (F1#1, F1#2.1, F1#2.2 e F1#3). O acesso silvestre *S. pennellii* e a cultivar Santa Clara foram utilizados como genótipos de referência contrastantes quanto à resposta ao estresse hídrico. Os materiais foram submetidos às condições controle (0,0 MPa; água destilada) e estresse hídrico (-0,3 MPa; manitol na concentração de 22,29 mg L⁻¹). Foram avaliadas, de acordo com a regra de análises de Sementes – RAS, a germinação, a primeira contagem de germinação, o índice de velocidade de germinação e o comprimento de plântulas. Os resultados evidenciaram diferenças significativas entre os genótipos sob estresse hídrico, com destaque para a linhagem anã UFU MC TOM1 e o acesso *Solanum pennellii*, que apresentaram maior tolerância ao déficit hídrico simulado. Os híbridos F1#2.1 e F1#2.2 apresentaram tolerância intermediária, enquanto F1#1, F1#3 e a cultivar Santa Clara mostraram maior sensibilidade ao estresse. Conclui-se que o estresse hídrico induzido por manitol foi eficiente para diferenciar a tolerância à seca em sementes de híbridos de tomateiro anão, permitindo a identificação de genótipos com melhor desempenho fisiológico nas fases iniciais de desenvolvimento.

PALAVRAS-CHAVE: Nanismo em tomateiro, déficit hídrico, melhoramento genético.

1 INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos, como secas e inundações, são cada vez mais comuns, afetando o desempenho dos cultivos agrícolas e, consequentemente, a oferta global de alimentos (Furtak; Wolińska, 2023). Neste sentido, o desenvolvimento de novas cultivares de plantas com resistência a seca é crucial para a manutenção da oferta de alimentos para a população crescente (Cooper; Messina, 2023; Xiong *et al.*, 2022). O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é a hortaliça-fruto de maior relevância mundial, sendo responsável por gerar significativo valor econômico, social e nutricional. Nas últimas décadas, o cultivo de tomate obteve avanços consideráveis em produtividade e qualidade dos frutos, devido ao uso de híbridos com elevado potencial produtivo (Nick; Silva, 2016).

A linhagem anã UFU MC TOM1 (Maciel *et al.* 2015) possui potencial para o desenvolvimento de novos híbridos de tomate com alto potencial produtivo, qualidade de frutos e tolerância a estresses bióticos e abióticos (Finzi 2017; Oliveira *et al.* 2024; Pereira *et al.* 2024). Estudos anteriores realizados com a linhagem UFU MC TOM1, por meio de análises metabolômicas conduzidas em tecido foliar, evidenciaram elevados teores de metabólitos associados à resposta ao estresse hídrico, como a prolina (Pereira *et al.*, 2024). Embora essas análises tenham sido realizadas em tecido foliar, e não em sementes — estrutura avaliada no presente estudo — tais resultados indicam o potencial fisiológico e metabólico desse germoplasma para respostas adaptativas ao déficit hídrico. Assim, a avaliação conduzida em sementes complementa essas informações, permitindo investigar se esse potencial também se manifesta nas fases iniciais do desenvolvimento vegetal.

Nos últimos anos, pesquisadores desenvolveram um germoplasma de tomate anão de diversos grupos varietais, como Santa Cruz, Salada e Saladete, derivados da linhagem UFU MC TOM1 (Finzi *et al.*, 2017; Oliveira *et al.*, 2024). Apesar da linhagem UFU MC TOM1 ser promissora para o desenvolvimento de novos híbridos de tomate com resistência a seca, não há relatos do desempenho da linhagem UFU MC TOM1 e de híbridos derivados desta linhagem em condições de estresse hídrico.

A avaliação de genótipos em estágios iniciais do desenvolvimento vegetal é uma ferramenta importante para a seleção de novas cultivares de tomate tolerantes a seca. O manitol, um açúcar capaz de reduzir o potencial osmótico do substrato têm sido utilizadas em trabalhos de germinação com objetivo de simular estresse hídrico em condições de laboratório, por ser um composto químico inerte e não tóxico (COELHO *et al.*, 2010).

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho foi avaliar o estresse hídrico induzido por manitol em sementes de híbridos de tomateiro anão

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Melhoramento Genético do Tomateiro

O tomateiro (*S lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae. As plantas são herbáceas, diploides ($2n=2x=24$), autógamas e com crescimento simpodial (Boiteux *et al.*, 2012). As folhas apresentam filotaxia alterna e possuem folíolos com formato variável. O interesse comercial está direcionado ao fruto, que é classificado como tipo baga, de peso e formato variável, com destaque aos formatos oblongo, redondo e achatado, contendo mais de 2 lóculos. O tempo de maturação é de aproximadamente 40 dias após a fecundação do óvulo. A inflorescência é do tipo cacho ou racimo, com número variado de flores (Quezada *et al.*;2023).

O tomateiro cultivado apresenta diferentes hábitos de crescimento: determinado, semi-determinado ou indeterminado. O hábito mais utilizado para consumo *in natura* é o indeterminado; plantas de hábito de crescimento determinado geralmente são utilizadas para processamento industrial. A explicação genética por trás dos hábitos determinados e indeterminados refere-se principalmente ao gene *self-pruning* (SP), que é pertencente de uma família de seis genes e o responsável por regular as fases vegetativa e reprodutiva da planta (Fontes, 2005). A fase vegetativa do tomateiro possui duração variável de acordo com a genética e o ambiente, geralmente com emissão de 8 a 12 folhas verdadeiras. Ao final da fase vegetativa, a planta pode assumir diferentes combinações de emissão de inflorescências e folhas, a depender do hábito de crescimento. Em plantas com hábito de crescimento indeterminado (SPSP), ocorre sempre a emissão de uma inflorescência e de três folhas, que se repete por n vezes, e o crescimento nunca é cessado (Piotto; Peres, 2012).

Já nas plantas de hábitos de crescimento semi-determinado e determinado (spsp), ocorre uma redução gradativa no número de folhas emitidas após a emissão de uma inflorescência, até que o meristema apical seja convertido em duas inflorescências terminais. A diferença entre as plantas e hábito crescimento indeterminado está basicamente na quantidade de folhas e inflorescências emitidas após a primeira inflorescência, que é menor nas plantas de hábito de crescimento determinado (Piotto; Peres, 2012).

O melhoramento genético do tomate tem como principal objetivo o desenvolvimento de cultivares híbridas que apresentem maior produtividade, resistência a pragas e doenças, melhoria da qualidade dos frutos e com adaptações às diferentes condições climáticas de cultivo. Nos últimos anos, o uso de técnicas de melhoramento genético tem permitido a

obtenção de cultivares com características específicas, como tolerância a estresses abióticos e aumento no teor de licopeno nos frutos (Gruber, 2017).

Híbridos de tomate têm sido amplamente comercializados em muitos países. A heterose no tomate se expressa pelo índice de colheita (produção/biomassa total), número de sementes por plantas e o aumento no número de frutos por planta, o que resulta em ganhos de produtividade de 20 a 30% em comparação aos cultivares homozigóticos (Boiteux *et al.*, 2012). Embora o tomate seja uma espécie autógama, em que cada flor precise ser emasculada e polinizada manualmente, esse processo é economicamente viável devido ao grande número de sementes que cada fruto produz e o seu valor de comercialização (Borém; Miranda, 2013).

No Brasil, esforços para a obtenção de novos híbridos de tomate são realizados por empresas que comercializam sementes como Agristar do Brasil, Enza Zaden, Rijk Zwaan, Sakata, Syngenta, Vilmorin-Mikado, KWS, East-West Seed etc. e por instituições de capital público como UFU, UFLA, UFV, EMBRAPA etc. Além da exploração da heterose, o uso de acessos silvestres no melhoramento genético merece destaques. Existem diversos acessos silvestres, de diferentes espécies aparentadas, como *S. habrochaites*, *S. pennellii*, *S. pimpinellifolium*, entre outras (Boiteux *et al.*, 2012). Os bancos de germoplasma como o da Embrapa Hortaliças (Brasília-DF), da Universidade Federal de Uberlândia (Monte Carmelo-MG), da Universidade Federal de Viçosa (Viçosa-MG) e do Tomato Genetic Resource Center (Davis, California) são fundamentais para a preservação da variabilidade genética necessária para o desenvolvimento de novos cultivares (Nick; Silva, 2016).

3.2 Panorama da Tomaticultura Brasileira

O cultivo de tomate no Brasil tem significativa relevância econômica e social. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2024), o país está entre os dez maiores produtores mundiais de tomate, com uma produção anual de aproximadamente 4,40 milhões de toneladas em 2024, tendo um valor de produção de R\$ 9.918.958,00 e rendimento médio de 72.760 Kg por hectare (IBGE, 2024).

O crescimento da tomaticultura brasileira está diretamente relacionado ao desenvolvimento de novas tecnologias, como o uso de híbridos de alto rendimento. No entanto, desafios como o controle de pragas, doenças, a restrição hídrica e a oscilação climática ainda representam grandes obstáculos para os produtores, que precisam se adaptar constantemente às condições climáticas, novas demandas do mercado e aos avanços tecnológicos (Melo; Vilela, 2005).

A produção é baseada em tomaticultura para mesa (para consumo *in natura*) ou para a indústria. O tomateiro é cultivado em praticamente todas as regiões do país, com destaque para o estado de Goiás, que é nacionalmente reconhecido pelo cultivo destinado ao processamento industrial, caracterizado por grandes áreas de tomate rasteiro (determinado) irrigadas por pivôs centrais (Boiteux *et al.*, 2012). Assim, para os estudiosos, os tomates de cultivo rasteiro, com finalidade majoritariamente industrial, tendem a necessitar de um controle mais rígido das condições fitossanitárias, por apresentarem plantas mais suscetíveis à incidência de pragas e doenças, devido ao contato direto de frutas, folhas e caule com o solo.

Com relação aos tomates direcionados para o consumo fresco (*in natura*) tem como destaque os estados de São Paulo e Minas Gerais, que juntos concentram mais de 60% da produção nacional. Em relação a distribuição entre tomate de mesa e tomate industrial, cerca de 63% do tomate produzido no Brasil é destinado ao consumo *in natura*, enquanto os outros 37% destinam-se ao processamento industrial. (Boteon *et al.*, 2020).

Os tomates de crescimento indeterminado, utilizados para cultivo de tomates de mesa, exigem cuidados específicos durante o cultivo, como o estaqueamento ou tutoramento, o que requer mão-de-obra especializada. Os principais tipos de tomates destinados ao consumo *in natura*, segundo Nick, Silva e Borém (2018) incluem os grupos Santa Cruz, Salada, minitomate e Italiano ou Saladete. Algumas regiões de expressiva produção de tomates estaqueados são Araguari - MG, Sumaré - SP, Mogi-Mirim - SP, Caçador - SC, Venda Nova do Imigrante - ES, Paty do Alferes - RJ, Carmópolis de Minas - MG, Faxinal - PR e Serra da Ibiapaba - CE. No segmento adotado pelo tomate de mesa, os estados de Minas Gerais e São Paulo são os maiores produtores e consumidores de frutos *in natura*. (Embrapa, 2022). Já na região Nordeste, os produtores cultivam tomates determinados ou semi-determinados em sistema rasteiro ou de meia-estaca, visando atender o mercado fresco. No Nordeste, podem-se destacar os estados da Bahia, Ceará e Pernambuco.

A importância nutricional dessa hortaliça é caracterizada pela presença de vitaminas, minerais e outros compostos bioativos. Neste sentido, destaca-se o pigmento licopeno, um carotenoide responsável pelo aspecto de cor vermelha dos frutos sendo um poderoso antioxidante, que ajuda na defesa do organismo contra os radicais livres e podem prevenir doenças, até mesmo o câncer de próstata e de ovário (Costa; Matias, 2014). Dessa forma, o melhoramento genético fez possível oferecer novos híbridos com teores maiores de licopeno, por conta da pressão que os mercados atuais exigem, propondo que estes pigmentos evoluam tanto em híbridos de tomate *in natura*, quanto em híbridos para tomates processados.

3.3 Nanismo em Tomateiro

O nanismo em plantas refere-se à redução acentuada no crescimento, quando comparado ao tamanho típico da espécie, sendo frequentemente causado por mutações que afetam hormônios responsáveis pelo desenvolvimento (Taiz *et al.*, 2017). Conforme descrito por Carvalho *et al.*; 2025, essa condição pode ser resultante de alterações em genes que controlam o crescimento celular, resultando em plantas de porte menor. Além disso, o nanismo também pode ser influenciado por condições ambientais desfavoráveis ou manejo inadequado, sendo um fenômeno relevante tanto para a pesquisa básica quanto para a agricultura em larga-escala.

No caso específico do tomateiro, o nanismo é geralmente expresso devido a alelos recessivos que levam ao bloqueio na produção, percepção ou transporte de hormônios, sendo os mais comuns as giberelinas e os brassinosteroides. O fenótipo destes mutantes pode variar desde leves alterações no tamanho da planta e comprimento dos internódios até a presença de folhas de coloração verde-escuro e retorcidas, alterações nas flores e frutos. Muitas vezes, o fenótipo ‘normal’ pode ser restaurado através da aplicação exógena do hormônio em que o mutante apresenta alterações (Bishop *et al.*, 1999; Nomura *et al.*, 2005).

A elevada disponibilidade de mutantes alterando estas e outras rotas metabólicas, com tamanho reduzido e ciclo curto faz do tomate de porte anão uma planta-modelo para estudos de fisiologia, biologia molecular e biotecnologia (Zsögön *et al.*, 2008). Além do uso para pesquisa básica, alguns destes mutantes possuem potencial para uso em programas de melhoramento genético (Maciel *et al.*, 2015).

Finzi *et al.* (2017) demonstra, em seu trabalho, um potencial uso para genes de nanismo em programas de melhoramento genético de minitomate indeterminado. O uso de um parental anão, cruzado com um parental de porte normal, deu origem a híbridos com internódios reduzidos. A redução de internódios pode aumentar a produtividade por planta de tomate indeterminado, devido ao aumento no número de pencas por metro linear.

3.4 Estresse Hídrico em Tomateiro

O estresse hídrico é um dos maiores desafios para a produção de tomate no Brasil, especialmente em regiões onde a disponibilidade de água é limitada ou ocorre de forma irregular ao longo do ciclo de cultivo (Borba *et al.*; 2017). A falta de água afeta diretamente o metabolismo do tomateiro, desencadeando uma série de adaptações fisiológicas e morfológicas, como a redução da transpiração, o fechamento dos estômatos e a diminuição da área foliar, com o

objetivo de conservar água. Contudo, essas respostas naturais podem comprometer o crescimento da planta e, conseqüentemente, reduzir a quantidade e a qualidade dos frutos produzidos (Lopes, 2015).

(Soares *et al.*; 2011) analisou como o estresse hídrico afeta o crescimento do tomateiro e a qualidade física dos frutos em ambiente protegido. A falta de água prejudica o desenvolvimento vegetativo e reduz características como peso e tamanho dos frutos, evidenciando a necessidade de práticas adequadas de irrigação para maximizar a produtividade. A pesquisa conclui que o manejo hídrico é crucial para garantir a qualidade e a quantidade da produção de tomates em ambiente protegido.

Além das respostas hormonais e enzimáticas, o estresse hídrico também provoca alterações no metabolismo oxidativo das sementes. O aumento na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), como radicais livres e peróxidos, pode causar danos às membranas celulares, proteínas e DNA, resultando em uma menor viabilidade da semente e um desenvolvimento comprometido da planta (Taiz *et al.*, 2017).

A compreensão dos processos fisiológicos e bioquímicos relacionados ao estresse hídrico durante a formação e germinação de sementes de tomate é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias que visem minimizar os impactos negativos desse estresse e garantir o sucesso da cultura, especialmente em regiões sujeitas à escassez de água (Lima *et al.*, 2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes e Recursos Genéticos – LAGEN da Universidade Federal de Uberlândia – UFU, campus Monte Carmelo – MG. Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 4 repetições. Foram avaliados 14 tratamentos, resultantes da combinação entre os genótipos e os potenciais osmóticos, totalizando 56 parcelas. Cada parcela experimental foi constituída por um gerbox com 25 sementes. Foram avaliados os genótipos presentes na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos genótipos avaliados quanto à tolerância ao estresse hídrico

Genótipo	Tipo	Porte ¹	Origem ²
UFU MC TOM1	Linhagem	Anão (dd)	UFU
<i>Solanum pennellii</i> LA0716	Acesso selvagem	Normal (DD)	TGRC
Santa Clara	Cultivar	Normal (DD)	IAC
F1#1 (UFU-040@#26@#1 ♀ x ♂ UFU-SCI#8.3,2-2.1.2)	Híbrido	Normal (Dd)	UFU
F1#2.1 (UFU-040@#26@#3 ♀ x ♂ UFU-SCI#6.1,2-2.1.5)	Híbrido	Normal (Dd)	UFU
F1#2.2 (UFU-040 ♀ x ♂ UFU-SCI#6.1,2-2.1.5)	Híbrido	Normal (Dd)	UFU
F1#3 (UFU-T12R1#2/SD ♀ x ♂ UFU-10-4-5-6-2)	Híbrido	Normal (Dd)	UFU

¹ dd: plantas com gene de nanismo em homozigose recessiva; DD: plantas com gene de nanismo em homozigose dominante; Dd: plantas com gene de nanismo em heterozigose.

²TGRC: Tomato Genetic Resource Center (<https://tgrc-mvc.plantsciences.ucdavis.edu/Accession/detail/LA0716>); IAC: Instituto Agrônomo de Campinas (https://www.iac.sp.gov.br/cultivares/inicio/resultados_quantitativos_view.php?pesquisa=Tomate). UFU: Laboratório de Análise de Sementes e Recursos Genéticos-UFU (<https://www.iciag.ufu.br/unidades/laboratorio/lagen-laboratorio-de-analise-de-sementes-e-recursos-geneticos>).

Os genótipos da Tabela 1 foram submetidos a dois potenciais osmóticos contrastantes: controle (0,0 MPa; água destilada) e estresse hídrico (-0,3 MPa; manitol na concentração de 22,29 mg L⁻¹), conforme sugerido por Maciel *et al.* (2017). Foram realizadas as seguintes avaliações, de acordo com a Regra de Análise de Sementes – RAS (MAPA, 2009):

- Primeira contagem de germinação (%): porcentagem de sementes germinadas ao 8º dia após o início do teste;
- Germinação (%): porcentagem de sementes germinadas ao 14º dia (último dia de teste) após o início do teste;
- Comprimento da plântula (mm): soma do comprimento da radícula e do hipocótilo, medidos com paquímetro digital.

- Índice de velocidade de germinação – IVG: foi obtido pela seguinte fórmula (Maguire, 1962):

$$IVG = \sum (n_i/t_i), \text{ em que:}$$

n_i = número de sementes que germinaram no dia 'i';

t_i = tempo, em dias, após instalação do teste;

$i = 1 \rightarrow 14$ dias.

Os dados coletados foram submetidos a análise de variância ($\alpha \leq 0,05$) e o efeito da interação entre os fatores foi desdobrado com auxílio do teste F ($\alpha \leq 0,05$) para agrupar as médias dentro dos níveis do fator estresse hídrico e o teste de Scott-knott ($\alpha \leq 0,05$) para agrupar as médias dentro dos níveis do fator genótipos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na ausência de estresse (controle), todos os genótipos apresentaram germinação final próxima dos 100%, oscilando entre 99% e 85%, porém sem diferença significativa entre os genótipos ($p=0,68$). Em estresse hídrico simulado com manitol, os genótipos UFU MC TOM1 e *S. pennellii* apresentaram germinação similar à da condição controle ($p=0,52$ e $p=0,61$, respectivamente), indicando alta tolerância ao estresse hídrico. Os híbridos experimentais F1#2.1 e F1#2.2 apresentaram tolerância intermediária. O híbrido F1#3 apresentou desempenho similar ao genótipo susceptível cv. Santa Clara, e o híbrido F1#1 apresentou a maior redução na germinação (Figura 1A).

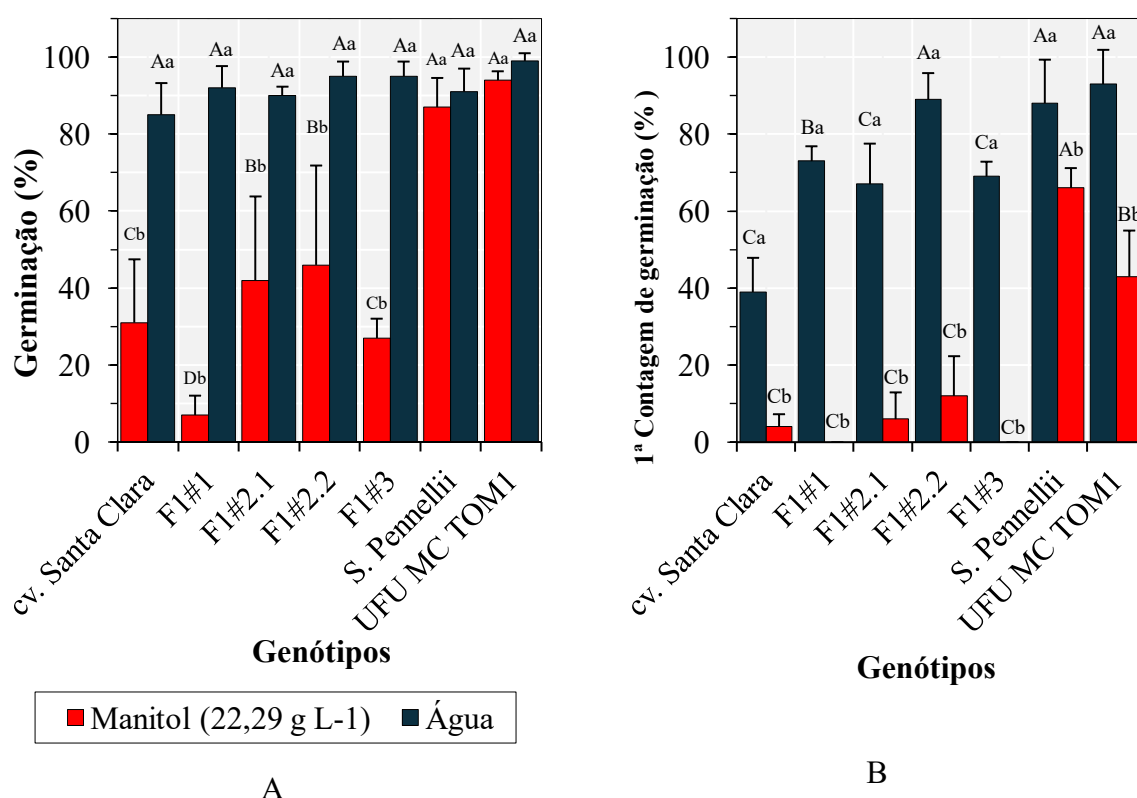


Figura 1. Germinação na última (A) e 1ª Contagem (B) de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico induzido por manitol.

Letras minúsculas comparam o estresse hídrico em cada genótipo e letras maiúsculas comparam genótipos para cada estresse hídrico, em nível de probabilidade de 5% pelos testes F e Scott-Knott, respectivamente.

A análise das letras indicativas dos testes estatísticos evidencia diferenças significativas entre os genótipos e entre as condições hídricas avaliadas. As letras minúsculas demonstram que a maioria dos genótipos apresentou redução significativa da germinação quando submetida ao estresse hídrico, indicando sensibilidade ao potencial osmótico reduzido. Entretanto, UFU

MC TOM1 e *Solanum pennellii* não diferiram estatisticamente entre as condições controle e estresse, evidenciando maior estabilidade fisiológica durante a germinação.

As letras maiúsculas, por sua vez, indicam diferenças entre genótipos dentro de cada condição hídrica. Em ambiente de estresse, observa-se a formação de grupos distintos, nos quais UFU MC TOM1 e *S. pennellii* permaneceram entre os materiais de maior desempenho, enquanto F1#1, F1#3 e a cultivar Santa Clara foram agrupados entre os genótipos mais sensíveis, apresentando redução significativa da germinação. Esses resultados demonstram que a tolerância ao estresse hídrico varia conforme o germoplasma avaliado, permitindo discriminar materiais superiores já na fase inicial de desenvolvimento.

Com relação a 1ª contagem de germinação, todos os genótipos tiveram seu desempenho afetado de forma significativa pelo estresse hídrico (Figura 1B). Numericamente, os genótipos *S. pennellii* e UFU MC TOM1 apresentaram os maiores valores de germinação em condição de estresse (66% e 43%, respectivamente), seguidos pelos genótipos F1#2.2 e F1#2.1 e cv. Santa Clara. Na condição de estresse, os híbridos F1#1 e F1#3 não apresentaram germinação na data da 1ª contagem. Nos tratamentos controle (água), a 1ª contagem de germinação variou entre os genótipos. Os genótipos *S. pennellii*, UFU MC TOM1 e F1#2.2 apresentaram os maiores valores, seguidos de F1#1 com valores intermediários e os demais genótipos com desempenho inferior.

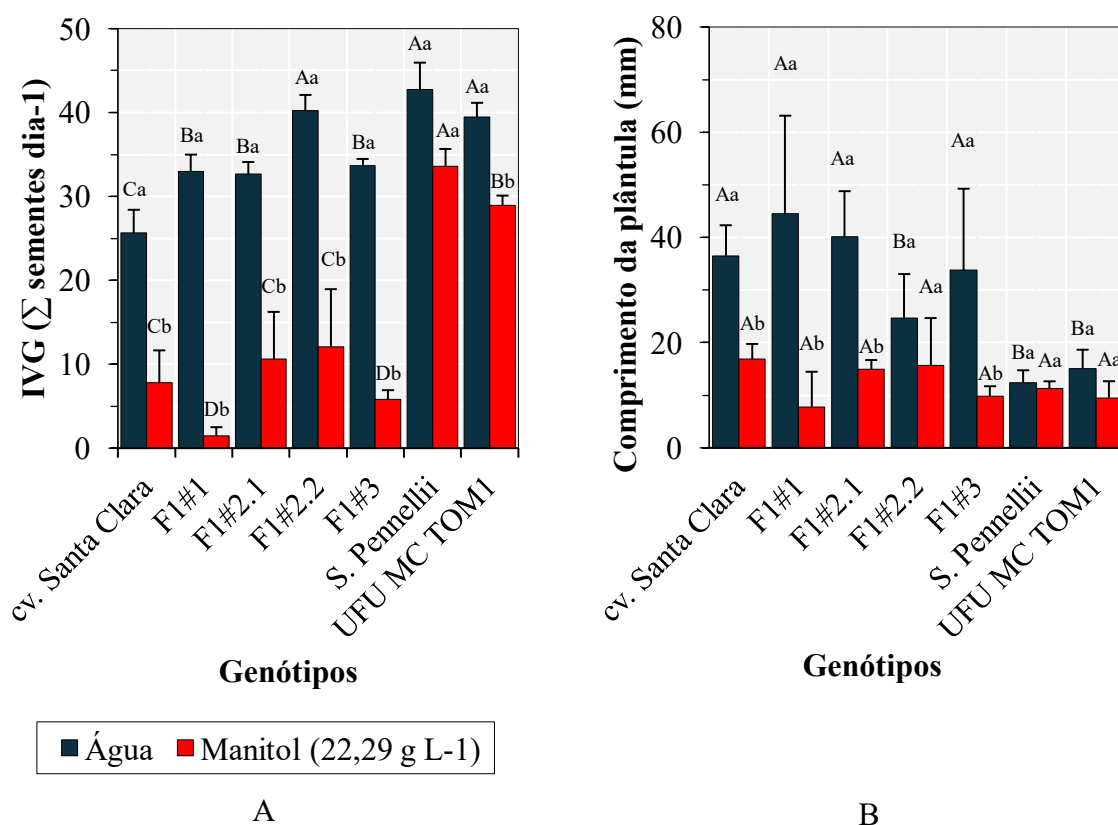


Figura 2. Índice de velocidade de germinação – IVG (A) e comprimento de plântulas (B) de genótipos de tomateiro.

Letras minúsculas comparam o estresse hídrico em cada genótipo e letras maiúsculas comparam genótipos para cada estresse hídrico, em nível de probabilidade de 5% pelos testes F e Scott-Knott, respectivamente.

Com relação à velocidade de germinação, avaliada pelo índice de velocidade de germinação (IVG), foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os genótipos em ambos os ambientes avaliados. As letras maiúsculas indicam a formação de grupos distintos dentro de cada condição hídrica, evidenciando que, na ausência de estresse, *Solanum pennellii*, F1#2.2 e UFU MC TOM1 apresentaram maior velocidade de germinação, diferindo estatisticamente dos demais genótipos. Sob estresse hídrico, verificou-se redução do IVG para a maioria dos materiais; entretanto, UFU MC TOM1 e *S. pennellii* permaneceram entre os grupos superiores, indicando maior capacidade de manutenção do vigor germinativo sob restrição hídrica.

As letras minúsculas demonstram que o estresse hídrico promoveu redução significativa da velocidade de germinação na maior parte dos genótipos, refletindo atraso no processo germinativo. A menor variação observada nos genótipos mais tolerantes sugere maior eficiência nos mecanismos fisiológicos relacionados ao ajuste osmótico e à manutenção da atividade metabólica durante a embebição das sementes.

O genótipo UFU MC TOM1 parece apresentar algum ajuste fisiológico/metabólico – decorrente da mutação de nanismo – que influencie positivamente o processo de germinação em condições de estresse hídrico. Já nos híbridos – que possuem o gene de nanismo em heterozigose (Dd) – esta influência positiva pareceu acontecer somente nos híbridos F1#2.1 e F1#2.2, que foram obtidos da mesma linhagem anã (UFU-SCi#6.1,2-2.1.5), indicando que esta tolerância pode estar ligada ao gene de nanismo, porém sofre também a influência de outros genes, e que aparentemente existe variabilidade no germoplasma de tomateiro anão da UFU.

Embora os resultados sugiram possível influência do gene de nanismo na resposta ao estresse hídrico, não se pode descartar a participação de outros genes presentes no germoplasma avaliado, bem como interações gênicas que possam contribuir para o desempenho observado. Assim, a tolerância identificada provavelmente resulta de um efeito conjunto entre o gene de nanismo e a constituição genética das linhagens utilizadas, evidenciando a natureza quantitativa e complexa do controle genético da resposta ao déficit hídrico em tomateiro.

Estas hipóteses levantadas poderão ser estudadas e validadas ou rejeitadas em pesquisas com maior número de linhagens anãs e os híbridos provenientes destas linhagens. Estudos de associação genômica ampla e metabolômica podem ser utilizados para desvendar o papel de certos metabólitos e regiões genômicas na regulação da resposta ao estresse hídrico neste germoplasma e auxiliar melhoristas de plantas por meio de seleção assistida, aumentando a velocidade e acurácia no desenvolvimento de novos híbridos de tomateiro com internódios curtos e tolerantes ao estresse hídrico.

Uma possibilidade para novos ciclos de melhoramento visando tolerância ao estresse hídrico em tomate seria a recombinação entre linhas de introgressão de *S. pennelli* e linhagens com genes de nanismo, visando a geração de novas populações para seleção de linhagens com tolerância aumentada ao estresse hídrico. Estas linhagens podem ser novamente recombinadas com linhagens-elite e gerar híbridos comerciais que combinem alto teto produtivo e tolerância a estresse hídrico.

Estudos metabolômicos previamente realizados com a linhagem UFU MC TOM1, conduzidos em folhas, identificaram metabólitos potencialmente associados à resposta ao estresse hídrico. Considerando que a análise metabolômica é dependente do tecido/órgão avaliado, os perfis obtidos em tecido foliar não podem ser extrapolados diretamente para sementes; ainda assim, tais informações reforçam o potencial fisiológico desse germoplasma para mecanismos adaptativos ao déficit hídrico. Dessa forma, os dados de metabolômica disponíveis na literatura atuam como evidência complementar, apoiando a interpretação dos resultados de germinação e

vigor e indicando a linhagem como fonte genética promissora para programas de melhoramento.

A integração de dados metabolômicos com análises genéticas permite avançar na seleção de materiais superiores de maneira mais precisa e eficiente. Perfis metabólicos relacionados à tolerância podem atuar como marcadores fenotípicos de alta resolução, complementando tanto a seleção assistida por marcadores quanto abordagens genômicas, como GWAS. Essa combinação aumenta a acurácia da identificação de alelos favoráveis e encurta o ciclo de seleção, contribuindo diretamente para o ganho genético em resistência ao estresse hídrico.

Assim, o uso de metabolômica em populações de tomate anão não apenas amplia o entendimento das bases bioquímicas da tolerância, mas também oferece ferramentas estratégicas para o desenvolvimento de cultivares adaptadas às condições ambientais impostas pelas mudanças climáticas. Ao revelar metabólitos-chave e rotas metabólicas relacionadas à resiliência, essas análises fortalecem a capacidade dos programas de melhoramento em direcionar recombinações e selecionar genótipos com maior potencial adaptativo e maior estabilidade fisiológica.

Quadro 1. Quadro 1. Redução relativa (%) da performance inicial de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico induzido por manitol, baseada nos valores médios de germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação e comprimento de plântulas.

Genótipos	Redução relativa					Resposta ao estresse
	Germinação	CP	IVG	1ª Contagem	Média	
cv. Santa Clara	63.5%	53.8%	69.7%	89.7%	69%	Intermediária
F1#1	92.4%	82.5%	95.5%	100%	93%	Altamente suscetível
F1#2.1	53.3%	62.7%	67.4%	91.0%	69%	Intermediária
F1#2.2	51.6%	36.4%	70.1%	86.5%	61%	Intermediária
F1#3	71.6%	70.9%	82.7%	100%	81%	Suscetível
<i>Solanum pennellii</i> LA716	4.4%	9.1%	21.4%	25%	15%	Altamente tolerante
UFU MC TOM1	5.1%	36.8%	26.6%	53.8%	31%	Tolerante

¹CP: Comprimento de Plântulas; ²IVG: Índice de Velocidade de Germinação.

Nota: A redução relativa (%) foi calculada em relação à condição controle (água destilada). A classificação dos genótipos quanto à resposta ao estresse hídrico foi realizada com base na média geral de redução das variáveis avaliadas, sendo considerados: até 25% = altamente tolerante; de 26 a 50% = tolerante; de 51 a 75% = intermediário; e acima de 75% = suscetível ou altamente suscetível. As cores do mapa representam visualmente a intensidade da redução relativa, variando de menores reduções (maior tolerância) para maiores reduções (maior sensibilidade).

A análise integrada das variáveis germinação, primeira contagem, índice de velocidade de germinação e comprimento de plântulas, sintetizada no Quadro 1 por meio da redução relativa (%) em relação à condição controle, permite uma interpretação conjunta da resposta

dos genótipos ao estresse hídrico induzido por manitol. A classificação adotada baseia-se na magnitude média de redução das variáveis fisiológicas avaliadas, possibilitando distinguir materiais mais tolerantes daqueles mais sensíveis ao déficit hídrico.

Observa-se que *Solanum pennellii* e a linhagem UFU MC TOM1 apresentaram as menores reduções médias, caracterizando maior tolerância ao estresse, enquanto F1#1, F1#3 e a cultivar Santa Clara exibiram maiores reduções relativas, indicando maior sensibilidade.

Os híbridos F1#2.1 e F1#2.2 apresentaram comportamento intermediário, confirmando os padrões observados nas análises individuais apresentadas anteriormente.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se que a tolerância à estresse hídrico pode ser avaliada de forma eficiente por meio do estresse hídrico induzido por manitol em germoplasma de tomateiro anão. A linhagem anã UFU MC TOM1 e o acesso *S. pennellii* apresentaram maior tolerância ao estresse hídrico simulado, mantendo desempenho superior quanto à germinação, ao vigor e à velocidade de germinação. Os híbridos F1#2.1 e F1#2.2 apresentaram tolerância intermediária, enquanto F1#1, F1#3 e a cultivar Santa Clara foram mais sensíveis ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS

- BISHOP, G.J.; NOMURA, T.; YOKOTA, T. HARRISON, K. *et al.* The tomato DWARF enzyme catalyses C-6 oxidation in brassinosteroid biosynthesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 96, n.4, 1761-1766, 1999. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.96.4.1761>. Acesso em: 6 jan. 2026.
- BOITEUX, L. S.; FONSECA, M. E.N., GIORDANO, L.B.; MELO, P.C.T. **Produção de Tomate para Processamento Industrial**. In: CLEMENTE, F.M.V.; BOITEUX, L. S. (eds.). **Melhoramento Genético**. Brasília: Editora Embrapa. P. 31-50, 2012.
- BORBA, M.E.L.; MACIEL, G.M.; MARQUEZ, G.M.; FRAGA JR., E.F. *et al.* Genetic diversity and selection in tomato genotypes under water stress induced by manitol. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 33, n. 3, p. 592-600, 2017.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 6 ed. rev. e ampl. ed. Viçosa - MG: Ed. UFV, 2013. 182 p.
- BOTEON, M.; DELEO, J. P. B.; MOREIRA, M. M. Tomaticultura em números. Hortifruti Brasil, Piracicaba, v.19, n.201, p. 13-18, jun.2020. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/especial-tomate-impactos-covid-19-nos-curto-e-medio-prazos.aspx>. Acesso em: 17 dez. 2025.
- CARVALHO, Rogério F. *et al.* Convergence of developmental mutants into a single tomato model system: 'Micro-Tom' as an effective toolkit for plant development research. **Plant Methods**, v. 7, n. 1, p. 18-32, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1746-4811-7-18>. Acesso em: 13 dez. 2025.
- COELHO, D. L. M. *et al.* Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 32, n. 03, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rca/a/K5Yr5ytcddggSTVzDzMHkc/?lang=pt>. Acesso em: 16 dez. 2025.
- COOPER, M.; MESSINA, C.D. Breeding crops for drought-affected environments and improved climate resilience. **The Plant Cell**, v. 35, n. 1, p. 162–186, 2023.
- COSTA, J.A.P.; MATIAS, A.G.C.. Câncer de próstata e a relação quimiopreventiva do licopeno: revisão sistematizada. **Tempus – Actas de Saúde Coletiva**, Brasília, v. 8, n. 4, p. 3-16, dez. 2014.
- EMBRAPA, 2022. Tomate. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/tomate>. Acesso em: 20 dez. 2025
- FINZI, R.R.; MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; LUZ, J.M.Q.; BORBA, M.E.A. Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.

41, n. 1, p.15-21, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542017411021416>. Acesso em 14 dez 2025.

FINZI, R. R. et al. Agronomic potential of BC1F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, 44: 1981-1829, 2020.

FONTES, PCR; SILVA, DJH. **Cultura do tomate**. In: FONTES, PCR (ed). Olericultura: Teoria e Prática. Viçosa. p. 458-475. 2005.

FURTAK, K.; WOLIŃSKA, A. The impact of extreme weather events as a consequence of climate change on the soil moisture and on the quality of the soil environment and agriculture – A review. **CATENA**, Amsterdam, v. 231, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107378>. Acesso em: 14 dez. 2025.

GRUBER, K. The living library: Wild and heirloom plants are giving major crop varieties, and the global food system, a genetic makeover. *Nature*, [S. l.], v.544, p.8-10, abr. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/544S8a>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/544S8a>. Acesso em: 09 out. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção de Tomate**. 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/tomate/br>. Acesso em: 10 out. 2025.

LIMA, J. S.; LOPES, C. A.; OLIVEIRA, M. A. Efeito do déficit hídrico na germinação de sementes de tomate. **Ciência Agrônômica**, v. 48, n. 1, p. 39-47, 2017.

LOPES, C. A.; LIMA, J. S. Respostas fisiológicas do tomateiro ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Horticultura**, v. 33, n. 2, p. 120-135, 2015.

MACIEL, G.M.; BERENGUER, A.F.; SILVA, E.C.; FRAGA JUNIOR, E.F.; ROCHA, D.K.; DA ROCHA, J.P.R. Déficit hídrico induzido por manitol para seleção de genótipos de tomateiro. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 60, n. 4, p. 315-321, out./dez., 2017. Disponível em: <https://ajaes.ufra.edu.br/index.php/ajaes/article/view/2482/1468>. Acesso em: 15 dez. 2025.

MACIEL, G.M.; SILVA, E.C.; FERNANDES, M.A.R. Ocorrência de nanismo em planta de tomateiro do tipo grape. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 259 – 264, out./dez., 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252015v28n429rc>. Acesso em: 6 jan. 2026.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **REGRA PARA ANÁLISE DE SEMENTE – RAS**. 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoes-insumos/2946_regras_analise_sementes.pdf. Acesso em: 15 Abr 2025.

MAGUIRE, J. D. Speed germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, Madison, v. 2, p. 176-177, 1962.

MELO, P.C.T.; VILELA, N.J. Desafios e perspectivas para a cadeia brasileira do tomate para processamento industrial. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.154-157, jan.-mar. 2005.

NICK, C.; SILVA, D. J. H. **Melhoramento de tomate**. In: NICK, C.; BORÉM, A. (eds.). *Melhoramento de Hortaliças*. Viçosa: Editora UFV. p. 396-431, 2016.

NICK, C.; SILVA, D.J.H.; BOREM, A. **Tomate: do plantio a colheita**. Vicosa, Ed. UFV, 2018, 237p.

Nomura, T.; Kushiro, T.; Yokota, T. *et al.* The Last Reaction Producing Brassinolide Is Catalyzed by Cytochrome P-450s, CYP85A3 in Tomato and CYP85A2 in Arabidopsis. **Journal of Biological Chemistry**, v. 280, n. 18, p. 17873-17879, 2005.

OLIVEIRA, C.S.; 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**, Lavras, v. 48, e002624, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-7054202448002624>. Acesso em: 6 jan. 2026.

PEREIRA, L.M.; MACIEL, G.M.; SIQUIEROLI, A.C.S.; LUZ, J.M.Q.; RIBEIRO, A.L.A.; OLIVEIRA, C.S.; PINTO, F.G.; IKEHARA, B.R.M. Introgression of the Self-Pruning Gene into Dwarf Tomatoes to Obtain Salad-Type Determinate Growth Lines, **Plants**, Basel, v. 13, 1522, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/plants13111522>. Acesso em: 6 jan. 2026.

PIOTTO, F. A.; PERES, L. E. Base genética do hábito de crescimento e florescimento em tomateiro e sua importância na agricultura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 11, p. 1941-1946, nov. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/BfrNZpwwzn4xqZMjThv3Hww/?lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2025.

QUEZADA, Emmanuel Torres *et al.* **Understanding the Phosphorus Index**. Blacksburg: Virginia Tech, 2023. Disponível em: <https://www.pubs.ext.vt.edu/SPES/spes-508/spes-508.html>. Acesso em: 21 dez. 2025.

SOARES, Lauriane Almeida dos Anjos; LIMA, Geovani Soares de; BRITO, Marcos Eric Barbosa; SÁ, Francisco Vanies da Silva; ARAÚJO, Tamires Tavares de. Crescimento do tomateiro e qualidade física de frutos sob estresse hídrico em ambiente protegido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 3, n. 3, p. 1-10, set. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I.M.; MURPHY, A.. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

XIONG, W.; REYNOLDS, M.; XU, Y. Climate change challenges plant breeding. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 70, 102308, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2022.102308>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ZSÖGÖN, A. *et al.* Reduced arbuscular mycorrhizal colonization in tomato ethylene mutants. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 3, p. 259-267, 2008.