Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Goiano
Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Programa de Pós-Graduação em Olericultura

Desempenho de híbridos de tomate industrial em diferentes altitudes geográficas

Autor: Fabrício Henrique Alves da Fonseca
Orientador: Jardel Lopes Pereira

MORRINHOS – GO
2025

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano –
Pró-reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação
Programa de Pós-Graduação em Olericultura

DESEMPENHO DE HÍBRIDOS DE TOMATE INDUSTRIAL EM DIFERENTES ALTITUDES GEOGRÁFICAS

Autor: Fabrício Henrique Alves da Fonseca
Orientador: Jardel Lopes Pereira

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM OLERICULTURA, no Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos – Área de Concentração: Olericultura.

MORRINHOS – GO
2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano Campus Morrinhos

F676d Fonseca, Fabricio Henrique Alves da.
Desempenho de híbridos de tomate industrial em diferentes altitudes geográficas. / Fabricio Henrique Alves da Fonseca. – Morrinhos, GO: IF Goiano, 2025.
44 f. : il. color.

Orientador: Dr. Jardel Lopes Pereira

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Olericultura, 2025.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. GGE Biplot. 3. Cultivos agrícolas - Rendimento. I. Pereira, Jardel Lopes. II. Instituto Federal Goiano. III. Título.

CDU 635.64

Fonte: Elaborado pela Bibliotecária-documentalista Morgana Guimarães, CRB1/2837

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
- ☑ Dissertação (mestrado)
- ☐ Monografia (especialização)
- ☐ TCC (graduação)
- ☐ Artigo científico
- ☐ Capítulo de livro
- ☐ Livro
- ☐ Trabalho apresentado em evento
- ☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor: Fabricio Henrique Alves da Fonseca

Matrícula: 2023204330440001

Título do trabalho: Desempenho de híbridos de tomate industrial em diferentes altitudes geográficas

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☑ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01 / 10 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☑ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☑ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

• Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;

• Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;

• Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Morrinhos — Local

15 / 09 / 2025 — Data

gov.br Documento assinado digitalmente
FABRICIO HENRIQUE ALVES DA FONSECA
Data: 15/09/2025 09:14:00-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____
Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

_____
Assinatura do(a) orientador(a)

gov.br Documento assinado digitalmente
JARDEL LOPES PEREIRA
Data: 15/09/2025 09:38:34-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 8/2025 - SGPGPI-MO/GPGPI-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

ATA Nº 130

BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos quatro dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e cinco, às 14h (quatorze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência (https://meet.google.com/qvv-ohyt-bfb) para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, intitulada "***Desempenho de Híbridos de Tomate Industrial em Diferentes Altitudes Geográficas***" de autoria de **Fabrício Henriques Alves da Fonseca** discente do Programa de Pós-Graduação em Olericultura do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida ao autor para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca fez suas arguições, adotando-se o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Olericultura, e procedidas às correções recomendadas, a Dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM OLERICULTURA,** na linha de pesquisa em Manejo Fitossanitários em Espécies Olerícolas, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na Secretaria do PPGOL da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação de artigo científico oriundo dessa Dissertação em periódico após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da Banca Examinadora.

Membros da Banca Examinadora

Nome	Instituição	Situação no Programa
Prof. Dr. Jardel Lopes Pereira	IF Goiano - Campus Rio Verde	Presidente
Prof. Dr. Alexandre Igor de Azevedo Pereira	IF Goiano - Campus Urutaí	Membro interno
Prof. Dr. Adriano Jakelaitis	IF Goiano - Campus Rio Verde	Membro externo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Jardel Lopes Pereira**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 06/08/2025 08:26:31.
- **Adriano Jakelaitis**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 06/08/2025 08:48:00.
- **Alexandre Igor de Azevedo Pereira**, **PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 06/08/2025 13:46:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/07/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 727724
Código de Autenticação: 8efbffaa88

INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Morrinhos
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000
(64) 3413-7900

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pelo dom da vida, por me conceder saúde, sabedoria e forças para sempre seguir lutando pelos meus objetivos em todos os momentos, mesmos naqueles que eu mesmo duvidava que conseguiria.

Aos meus pais Adão Custódio da Fonseca e Armelinda Alves da Fonseca, pelo apoio, esforços e incentivo para que eu pudesse vencer mais essa jornada iniciada há tanto tempo em minha vida.

A minha esposa Jomara Cristina Meira Guerrao e meu filho Otávio Guerrao da Fonseca, essa vitória também é de vocês, obrigado pelo apoio, por suportarem minha ausência dando forças para mais essa conquista em minha vida: Amo vocês!

Ao Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, que abraçaram a ideia proposta por mim desde o início dando todo o suporte para o desenvolvimento de minhas atividades curriculares.

A todos os professores e técnicos administrativos do Instituto Federal Goiano - Campus Morrinhos pelo suporte que me ofereceram.

Ao meu orientador Jardel Lopes Pereira.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte dessa etapa em minha vida, o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Fabricio Henrique Alves da Fonseca, filho de Adão Custódio da Fonseca e Armelinda Alves da Fonseca, nascido em 11 de julho de 1986, no município de Itaúna – Minas Gerais. Em 2008, graduou-se em Agronomia pela Universidade do Vale do Rio Verde. Em 2023, ingressou no Mestrado Profissional em Olericultura no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Morrinhos.

“A menos que modifiquemos à nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

(Albert Einstein)

ÍNDICE

Página

1 INTRODUÇÃO GERAL 1

2 REVISÃO DE LITERATURA 3

2.1 PANORAMA GERAL DO TOMATE 3
2.2 CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO TOMATEIRO 5
2.3 DESEMPENHO DE CULTIVARES EM DIFERENTES ALTITUDES 6

3 METODOLOGIA 9

4 RESULTADOS 14

5 DISCUSSÃO 21

6. CONCLUSÃO 25
7. REFERÊNCIAS 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise de variância em modelo misto para características agronômicas de genótipos de tomate, considerando genótipos como efeito fixo e ambientes/blocos como efeitos aleatórios. ..... **Erro! Indicador não definido.**4
Tabela 2 – Importância dos componentes principais (CP) e a relação de informação (RI) para híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228), avaliados em quatro diferentes localidades (Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina e Morrinhos) dos Cerrados Mineiro e Goiano, respectivamente. ..... **Erro! Indicador não definido.**5

RESUMO

DA FONSECA, FABRÍCIO HENRIQUE ALVES. Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, setembro de 2025. **Desempenho de híbridos de tomate industrial em diferentes altitudes geográficas.** Orientador: Dr. Jardel Lopes Pereira.

O tomate industrial é estratégico na agroindústria dos Cerrados mineiro e goiano, mas a variabilidade climática entre altitudes e microambientes dificulta a recomendação de híbridos que entreguem simultaneamente rendimento, sólidos solúveis (°Brix) e estabilidade. Avançar de comparações simples de médias para abordagens que capturam a interação genótipo × ambiente (G×E) é essencial para reduzir risco agronômico, melhorar a eficiência industrial e orientar contratos por qualidade. O objetivo deste estudo foi quantificar desempenho e estabilidade de quatro híbridos comerciais (HM4890, HM5369, HM7883 e HM4228) ao longo de um gradiente altitudinal (850 a 1.120m) em Minas Gerais e Goiás, oferecendo recomendações práticas de portfólio varietal e manejo. Conduziram-se ensaios na safra 2024 em Patos de Minas (930m), Iraí de Minas (970m), Cristalina (1.120m) e Morrinhos (850m), em delineamento em blocos ao acaso (cinco repetições). Avaliaram-se rendimento (kg planta^{-1}), °Brix, desenvolvimento vegetativo (duração do ciclo de cultivo) e sanidade (através de escala de notas de 1 a 5). As análises incluíram modelos lineares mistos (genótipos = fixos e ambientes/blocos = aleatórios), índice de adaptabilidade/estabilidade de Annicchiarico e GGE Biplot. As ANOVAs em modelo misto indicaram ausência de diferenças significativas entre híbridos para rendimento e °Brix, com forte contribuição ambiental. Ainda assim, as métricas de estabilidade revelaram contrastes úteis. O híbrido HM5369 combinou maior média e estabilidade (recomendação ampla). HM4890 mostrou potencial produtivo com instabilidade (uso dirigido a contextos específicos), HM4228 destacou-se em °Brix (adequado a contratos com bonificação por sólidos) e o HM7883 manteve desempenho intermediário. No GGE Biplot, os dois primeiros componentes explicaram 98,97% da variação (CP1=60,17% e CP2=38,80%). Iraí de Minas (MG) emergiu como ambiente mais informativo, enquanto Patos de Minas (MG) teve baixa discriminação. Por fim, recomenda-se, considerar Iraí de Minas (MG) como hub de seleção e os demais locais como validação complementar. Adotar portfólio varietal orientado a objetivo (HM5369 para volume, HM4228 para °Brix, HM4890 em janelas/talhões específicos) e implementar manejo heat-smart, com déficit de irrigação regulado por fenofase e fertirrigação K/Ca guiada por sensores, para elevar °Brix sem penalizar o rendimento em detrimento dos híbridos avaliados.

PALAVRAS-CHAVE: *Solanum lycopersicum*, GGE Biplot, rendimento, Sólidos solúveis, Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina, Morrinhos.

ABSTRACT

DA FONSECA, FABRÍCIO HENRIQUES ALVES. Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos, setembro de 2025. **Avaliação de diferentes híbridos de tomate industrial em diferentes altitudes geográficas.** Orientador: Dr. Jardel Lopes Pereira.

Processing tomato is strategic in the agro-industry of the Cerrado regions of Minas Gerais and Goiás; however, climatic variability across elevations and microenvironments complicates the hybrids recommendation that simultaneously deliver yield, soluble solids (°Brix), and stability. Moving beyond simple mean comparisons to approaches that capture genotype × environment interaction (G×E) is essential to reduce agronomic risk, improve industrial efficiency, and guide quality-based contracts. The objective of this study was to quantify performance and stability of four commercial hybrids (HM4890, HM5369, HM7883, and HM4228) along an elevation gradient (850–1,120m) in Minas Gerais and Goiás, and to provide practical recommendations for varietal portfolios and crop management. Trials were conducted in the 2024 season at Patos de Minas (930m), Iraí de Minas (970m), Cristalina (1,120m), and Morrinhos (850m), using a randomized complete block design with five replicates. The following variables were evaluated: yield (kg plant^{-1}), °Brix, vegetative development (crop cycle duration), and plant health (score scale from 1 to 5). Analyses included linear mixed models (genotypes as fixed effects; environments and blocks as random effects), Annicchiarico's adaptability/stability index, and GGE Biplot. Mixed-model ANOVAs indicated no significant differences among hybrids for yield and °Brix, with a strong environmental contribution. Even so, stability metrics revealed actionable contrasts. Hybrid HM5369 combined the highest mean and stability (broad recommendation). HM4890 expressed productive potential with instability (targeted use in specific contexts), HM4228 highlighted in °Brix (suited to contracts with °Brix premiums), and HM7883 maintained intermediate performance. In the GGE Biplot, the first two principal components explained 98.97% of the variation (PC1 = 60.17% and PC2 = 38.80%). Iraí de Minas (MG) emerged as the most informative test environment, whereas Patos de Minas (MG) showed low discriminating ability. We therefore recommend using Iraí de Minas (MG) as a selection hub and the other sites for complementary validation; adopting an objective-oriented varietal portfolio (HM5369 for volume, HM4228 for °Brix, HM4890 for specific windows/fields); and implementing heat-smart management—with phenophase-regulated deficit irrigation and sensor-guided K/Ca fertigation—to raise °Brix without penalizing yield across the evaluated hybrids.

KEY-WORDS: *Solanum lycopersicum*, GGE Biplot, yield, soluble solids, Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina, Morrinhos.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O tomate para processamento industrial ocupa papel estratégico na agroindústria brasileira e enfrenta, nos Cerrados mineiro e goiano, desafios crescentes de variabilidade climática, disponibilidade hídrica e estabilidade de qualidade (°Brix) ao longo de gradientes altitudinais e microclimas contrastantes (IMF 2024). Esses fatores intensificam a interação genótipo × ambiente (G×E), tornando comparações simples de médias insuficientes para orientar recomendações robustas a produtores rurais, empresas que dão suporte a esse agronegócio e indústrias. Ferramentas modernas, como GGE Biplot, permitem decompor o componente genotípico e a interação G×E para identificar híbridos estáveis, mega-ambientes e locais mais informativos para a seleção (YAN, KANG, 2003). Enquanto índices de adaptabilidade/estabilidade, como Annicchiarico, resumem o desempenho relativo em múltiplos ambientes sob incerteza (ANNICCHIARICO, 2002).

No eixo do manejo, o déficit de irrigação regulado (RDI) desponta como estratégia para elevar °Brix e a eficiência no uso da água com penalidades mínimas de rendimento quando calibrado por fenofase e risco térmico. Estudos recentes em tomate para processamento reportam ganhos em qualidade tecnológica e produtividade hídrica sob RDI e apoio a decisões, inclusive com ferramentas baseadas em aprendizado de máquina (BURATO *et al*., 2024; MARTELLI *et al*., 2024). Tais resultados são particularmente relevantes para ambientes sujeitos a ondas de calor, secas e maior variabilidade interanual típicas do Cerrado (IMF 2024).

Ao mesmo tempo, uma literatura emergente reforça o valor de redes multiambientes e de métricas complementares (GGE e AMMI) para ranquear híbridos por média e estabilidade, mapear *which-won-where* e priorizar *hubs* locais com alta capacidade discriminante. Uma abordagem que reduz custo experimental e aumenta o poder preditivo de recomendações (TIWARI *et al*., 2025; TRIPODI *et al*., 2025). Em paralelo, *benchmarks* recentes destacam a necessidade de contratos por qualidade

(bonificação por °Brix) e protocolos *heat-smart* (água e nutrição) para mitigar riscos produtivos e industriais em anos quentes e secos (BURATO *et al*., 2024).

De acordo com alguns estudos sabe-se que a amplitude térmica é um fator que atua nas melhores condições fisiológicas para planta (BITTAR, 2011; SILVA *et al*., 2007). Contextualizando o problema de pesquisa observa-se que a produção de tomate industrial é amplamente influenciada por fatores ambientais, incluindo a altitude geográfica, que afeta variáveis como temperatura, umidade e radiação solar. No entanto, a adaptação e o desempenho de híbridos de tomate em diferentes altitudes ainda não são plenamente compreendidos, especialmente no contexto das condições climáticas variáveis encontradas em regiões produtoras. A falta de informações detalhadas sobre como esses híbridos se comportam em diferentes altitudes dificulta a escolha adequada das variedades mais produtivas e resistentes, potencializando perdas econômicas e agronômicas.

Portanto, o objetivo do presente estudo foi quantificar o desempenho e a estabilidade de híbridos comerciais de tomate para processamento industrial ao longo de um gradiente altitudinal nos Cerrados de Minas Gerais e Goiás, integrando modelos lineares mistos, o índice de Annicchiarico e o GGE Biplot para selecionar materiais com maiores médias de estabilidade, identificar ambientes mais informativos em termos de posicionamento desses híbridos e, por fim, derivar recomendações práticas de portfólio varietal e manejo hídrico orientado à qualidade, em termos de parâmetros agronômicos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Panorama geral do tomate

O tomate (*Solanum lycopersicum* Linnaeus), pertencente à família das Solanáceas, é uma planta herbácea e autógama (MUELLER *et al*., 2015). Originário da América do Sul, o tomate foi introduzido no Brasil por volta da década de 1940. Um marco significativo dessa introdução foi o início do cultivo do tomate do subgrupo Santa Cruz no Estado do Rio de Janeiro (AYENAN *et al*., 2019). O clima da região montanhosa da Cordilheira dos Andes, onde a planta surgiu, é do tipo tropical de altitude, caracterizado por temperaturas amenas e alta precipitação pluviométrica, no entanto a cultura é adaptável a diversos climas, principalmente o tropical de altitude e o subtropical (BRANDÃO FILHO *et al*., 2018).

O tomateiro possui raízes axiais vigorosas concentradas nos primeiros 50 cm da superfície do solo. A raiz principal produz as raízes laterais e adventícias densas podendo atingir 1,5m de profundidade (AYENAN *et al*., 2019). As flores do tomateiro são dioicas, ocorrendo a polinização antes da antese; apresentando coloração amarelada. São agrupadas em cachos; as sépalas e estames ocorrem geralmente em número de cinco e a disposição na flor facilita a autopolinização, dificultando a polinização cruzada (MARINHO, 2018).

Quando as mudas são transplantadas, pode surgir um fator limitante relacionado ao desenvolvimento das raízes. Mudas produzidas em bandejas, devido ao espaço restrito para crescimento radicular, tendem a desenvolver sistemas de raízes mais superficiais e altamente ramificados. Esse tipo de sistema radicular pode expandir horizontalmente por até 1,5 metros e atingir a profundidade de até 0,50 metros, conforme discutido por

CASALS *et al*. (2019). Esse padrão de crescimento das raízes pode afetar a capacidade das mudas em explorar eficientemente o solo, após o transplante, influenciando diretamente no estabelecimento e crescimento inicial no campo (CASALS *et al.*, 2019).

Existem atualmente no mercado quatro cultivares de tomate: Santa Cruz, Italiano, Salada e Cereja (ZANOTTI, 2023). O tomate do tipo Santa Cruz é o mais conhecido no mercado, contudo, o grupo do tomate-cereja tem apresentado notório aumento na demanda pelos consumidores e por restaurantes. Sendo bastante utilizado em saladas e na ornamentação de pratos, além disso, tem alcançado preços compensadores, na maioria das vezes, superiores aos das demais cultivares (CANTELLI, 2018). O tomateiro do tipo cereja (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) é morfologicamente semelhante ao tomateiro comum. Pode apresentar hábito de crescimento determinado ou indeterminado, porém, os frutos caracterizam-se por ser de tamanho reduzido (3 cm a 10 cm), com diâmetro transversal médio abaixo de 39 mm (ZANOTTI, 2023).

O tomateiro possui grande importância socioeconômica sendo fonte de renda para grandes e pequenos agricultores (SOUZA, 2023). O tomateiro é considerado uma das hortaliças de maior importância econômica mundial. Segundo dados do (CARDOSO *et al*., 2024), o tomate é cultivado em 175 países, com produção de 177 milhões de toneladas em uma área de 4,8 milhões de hectares. A China é o maior produtor mundial, com área superior a um milhão de hectares plantados e uma produção anual que ultrapassam os 56 milhões de toneladas, seguido pela Índia, USA, Turquia, Egito, Itália, Irã e Espanha (ZANOTTI, 2023).

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) e do Levantamento Sistemático de Produção Agrícola (LSPA), no Brasil, a safra da cultura do tomate, ano base 2021, alcançou produção de 3,9 milhões de toneladas. Sendo em área total de 54.484 hectares, e colhida de 54.267 hectares com rendimento médio de 71.609 kg ha^{-1}. No Brasil o tomate é cultivado em praticamente todos os estados, com destaque para as regiões de Goiás, São Paulo e Minas Gerais, que lideram o ranking de produção (CARDOSO *et al*., 2024).

A especificidade do tomate é encontrada no valor do preço pago, que é muito volátil seguindo fatores como produção e oferta, as quais são comumente afetadas pelas condições climáticas (CONAB, 2019). No entanto, a divergência no preço recebido pelos produtores e o custo pago pelos consumidores são enormes. O que vem destacando o produto como responsável pela alta na inflação em determinado período, especialmente quando ocorre a quebra da produção (CONAB, 2019).

2.2 Condições climáticas do tomateiro

Variações climáticas influenciam o desenvolvimento e a qualidade dos frutos do tomateiro. A umidade e a temperatura são fatores particularmente importantes (GONÇALVES, 2023). Para alcançar altas produtividades sem comprometer a qualidade do tomate, seja para industrialização ou consumo *in natura*, é essencial considerar a influência do clima, da luminosidade e da pluviosidade. O tomateiro requer um clima temperado, com a temperatura desempenhando papel crucial para manter essa característica (CASTRO, 2021).

Embora a planta tolere variações significativas nas condições climáticas, ela adapta-se a ampla gama de climas e pode ser cultivada em diversas partes do mundo. No entanto, fatores como temperaturas adequadas, luminosidade e umidade relativa do ar são fundamentais para garantir a qualidade dos frutos e o bom desempenho da cultura (CASTRO, 2021).

A planta é considerada tolerante a variações térmicas. A faixa ideal de temperatura é de 25°C durante o dia e 18°C à noite. O ciclo da planta varia de 4 a 7 meses, desde a semeadura até a produção de novas sementes (GONÇALVES, 2023). Altas temperaturas podem causar problemas como a diminuição da germinação e a liberação do grão de pólen, menor fixação dos frutos, e a aparência de frutos pequenos com deficiência na quantidade de sementes. Além disso, podem ocorrer anomalias (GOMES, 2016).

Pode-se afirmar que o tomateiro não suporta temperaturas extremas, contudo, dependendo do cultivo, pode ser tolerante ao estresse térmico (GOMES, 2016). Além da temperatura, a pluviosidade é outro fator que gera impactos na produtividade do tomate. Locais muito chuvosos e, consequentemente, com altos níveis de umidade do ar favorecem doenças causadas por fungos e bactérias (BISSACOTTI; LONDERO; COSTABEBER, 2021).

Outro fator climático essencial para o desenvolvimento da cultura do tomateiro é a luminosidade, pois fornece luz solar necessária para a realização da fotossíntese. Assim, a luminosidade influência o teor de açúcar nos frutos e consequentemente altas taxas de luminosidade contribui para a qualidade do fruto (GOMES, 2016).

O tomateiro demanda solos altamente férteis, embora extraia grandes quantidades de nutrientes, sua eficiência na absorção de adubos é baixa, resultando em

aproveitamento limitado dos fertilizantes (ZANOTTI, 2023).

As condições climáticas desempenham papel crucial no cultivo bem-sucedido do tomateiro (*Solanum lycopersicum*). Este vegetal é especialmente sensível às variações de temperatura, luminosidade e umidade relativa do ar ao longo do ciclo de crescimento. (BOTTON, 2019).

Temperaturas ideais para o desenvolvimento saudável das plantas e a formação adequada dos frutos variam geralmente entre 20°C e 30°C durante o dia, sem cair abaixo de 15°C à noite (GONÇALVES, 2023). A luminosidade também é fundamental. O tomateiro precisa de quantidade significativa de luz solar direta para realizar a fotossíntese e garantir o desenvolvimento de frutos de boa qualidade (BOTTON, 2019).

Além disso, a umidade relativa do ar influencia diretamente a transpiração das plantas e a evaporação, afetando tanto o crescimento vegetativo quanto a maturação dos frutos. Portanto, o manejo cuidadoso desses fatores climáticos é essencial para otimizar a produtividade e a qualidade dos tomates em diferentes regiões e épocas do ano (GONÇALVES, 2023).

A expansão da produção de tomate foi impulsionada pela adaptação a diversas condições climáticas, permitindo uso tanto para processamento industrial quanto para consumo. Para a indústria, é crucial que o tomate amadureça completamente, adquirindo uma coloração avermelhada e alcançando o máximo teor de aroma e sabor (BOTTON, 2019).

As características qualitativas do tomate são essenciais tanto para o consumidor final quanto para a seleção de frutos na industrialização. Os preceitos da produção incluem: menor custo, maior qualidade e produtividade. Esses fatores contribuem para a agregação de valor ao produto (PEIXOTO *et al*., 2017).

O cultivo de tomateiro para processamento industrial expandiu a partir da década de 1990, e desde então tem sofrido mudanças geográficas na área de produção, mas estabilizando-se nas últimas décadas (EVANGELISTA *et al*., 2022).

2.3 Desempenho de cultivares em diferentes altitudes

A altitude é a distância vertical em metros de um ponto em relação ao nível do mar. Ambientes com grande variação de altitude contribuem para a diversificação das espécies cultivadas devido ao gradiente de condições climáticas que promovem aumento no ciclo da cultura cultivada (REICHERT JÚNIOR, 2021).

Gradientes de altitude ocasionam alterações climáticas em curtas distâncias, como a redução da temperatura e da pressão atmosférica, além de aumentar a radiação atmosférica e causar maior diferença entre temperaturas diurnas e noturnas (REICHERT JÚNIOR, 2021). O crescimento das plantas ao longo do gradiente térmico é influenciado principalmente pela redução da temperatura. Por exemplo, o ciclo do milho pode ser prolongado em locais mais elevados (AHMAD; UNIYAL; SINGH, 2018).

O ambiente tem impacto significativo nas características morfológicas e fisiológicas das plantas. Estudos indicam que a heterogeneidade ambiental nos municípios de Anchieta e Guaraciaba, no extremo oeste de Santa Catarina, causou respostas distintas nas populações locais de milho pipoca (REICHERT JÚNIOR, 2021). Além disso, pesquisa realizada por Rolim *et al*. (2020) revelaram que em áreas experimentais com temperaturas mais elevadas, o café teve um processo de maturação acelerado. Aparecido *et al*. (2018) observaram que no Estado de São Paulo, o café pode amadurecer de 2 a 3 meses antes em comparação com regiões com temperaturas mais amenas, como em Minas Gerais (APARECIDO *et al*., 2018).

No Estado de São Paulo, nota-se diferenças na duração do ciclo do café entre as diferentes regiões. Em regiões elevadas, como a Alta Mogiana, em que as altitudes são superiores a 800 m, a maturação ocorre após o mês de maio. Em contraste, regiões com baixas altitudes, como a região centro-oeste do Estado, a menos de 600 m, apresentam um ciclo mais curto (FILLA, 2023). Temperaturas mais elevadas, por reduzirem o período de crescimento dos grãos, resultam em menor acúmulo de fotoassimilados, reduzindo o potencial da qualidade da bebida (FILLA, 2023).

Em regiões de elevada altitude de Santa Catarina, como aquelas entre 900 e 1400 metros acima do nível do mar, cultiva-se uvas. Essas condições proporcionam ciclos fenológicos mais longos, maior disponibilidade solar e maior amplitude térmica em comparação com outras regiões vitícolas brasileiras. Isso favorece o cultivo da variedade de uvas *Vitis vinifera L*., que alcança índices de maturação adequados para a produção de vinhos com intensa coloração, aroma e acidez (MIRANDA *et al.,* 2020).

No cultivo da cebola, fatores como fotoperíodo e temperatura influenciam a produtividade. Problemas climáticos e a altitude podem afetar a formação e o desenvolvimento dos bulbos, diminuindo a produção e a qualidade (OLIVEIRA, 2018). Em regiões de maior altitude, o frio intenso e prolongado pode exigir ajustes nas épocas de semeadura e transplante para evitar florescimento prematuro. Em contrapartida, temperaturas mais elevadas em regiões de baixa altitude podem favorecer o

desenvolvimento e estabelecimento da cultura (ROSA, 2021).

O feijoeiro-comum cultivado em regiões de cerrados de baixa altitude, observam-se diferenças significativas nas análises conjuntas para ciclo, produtividade, massa de cem grãos, reação à mancha angular e tolerância ao acamamento. Existe interação GxA (genótipo x ambiente), indicando que os genótipos respondem de forma diferenciada aos ambientes (OLIVEIRA, 2018).

Em um ensaio com milho em uma localização com limitações na qualidade dos solos e menor altitude, em que as noites têm temperaturas médias mais altas, observou-se uma interferência negativa na produtividade final de grãos. A altitude apresentou a maior influência sobre a temperatura, seguida pela latitude e longitude (FRITZSONS; MANTOVANI; WREGE, 2016).

O cultivo de tomate-cereja no Brasil, especialmente em regiões de baixa altitude, enfrenta desafios fitossanitários e fisiológicos que podem causar sérios prejuízos aos produtores. A maioria dos cultivares disponíveis não possui resistência ou tolerância a fitopatógenos e não é adequada para condições de alta temperatura e altitudes inferiores a 400 m (PANZA *et al*., 2019).

FRITZSONS, MANTOVANI e WREGE (2016) destacam que a relação entre altitude e temperatura é crucial para regiões tropicais e subtropicais. Diferenças de altitude de apenas algumas centenas de metros podem provocar mudanças significativas no clima e na adaptação das espécies, assim como na aptidão para diferentes sistemas de uso da terra.

A temperatura do ar, dentre os elementos climáticos, promove efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos em plantas e animais. Compreender essa influência é crucial para entender como as populações respondem a essas mudanças, mesmo no local de origem (FRITZSONS; MANTOVANI; WREGE, 2016).

3 METODOLOGIA

Locais experimentais

O ensaio foi instalado em quatro propriedades rurais produtoras de tomate para processamento industrial, nos municípios de Patos de Minas – MG, Irai de Minas - MG, Cristalina – GO e Morrinhos – GO (Figura 1), sob as respectivas coordenadas geográficas: 18°18'45.6"S 46°01'29.2"W; 18º 40' 97" S 49º 19' 19" W; 16°21'02.1"S 47°32'58.7"W e 17°52'41.2"S 48°56'55.3"W.

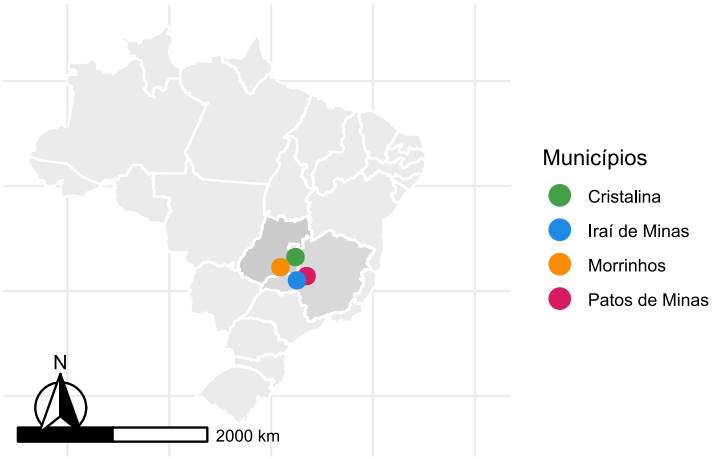

Figura 1. Municípios em que foram realizados os experimentos, sendo: Patos de Minas - MG, Iraí de Minas - MG, Cristalina – GO e Morrinhos – GO.

Condições de altitude, clima e solo dos locais experimentais

O município de Patos de Minas - MG a altitude média é de 930m, enquanto em Iraí de Minas - MG, a altitude média é de 970 m. No município de Cristalina - GO tem altitude média de 1.120m e o município de Morrinhos - GO tem altitude média de 850m.

O clima das regiões, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw (tropical

com estação seca bem definida), caracterizado por uma estação chuvosa, compreendida entre os meses de outubro e abril, em que ocorre a cerca de 90% do total anual precipitado.

Os dados meteorológicos foram obtidos a partir das estações do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes às estações A503 (Patos de Minas), A020 (Cristalina), A037 (Morrinhos) e devido à ausência de estação INMET em Iraí de Minas, utilizou-se dados da estação mais próxima (Monte Carmelo - A507), considerando as similaridades climáticas regionais (INMET, 2024).

As condições climáticas variaram entre os municípios estudados ao longo do ciclo de desenvolvimento e produção das plantas de tomate para processamento industrial avaliadas. Em Patos de Minas, no ano de 2024 registrou precipitação acumulada de 45,2 mm, umidade relativa do ar média de 72,5% e temperatura média de 22,1°C, com máximas de 28,5°C e mínimas de 16,3°C. Em Iraí de Minas em 2024 registrou volume pluviométrico de 38,7 mm, com umidade relativa de 75,0% e temperaturas média de 20,8°C, máxima de 26,9°C e mínima de 15,0°C. Nos municípios de Cristalina e Morrinhos em 2024 foram observados precipitações de: 52,1 mm e 40,5 mm, respectivamente, com umidade relativa 68,3% e 70,8% respectivamente. As temperaturas médias também nesses municípios foram de 23,5°C em Cristalina e 24,0°C em Morrinhos, atingindo máximas de 30,2°C em Cristalina e 31,0°C em Morrinhos. Enquanto as temperaturas mínimas foram de 18,1°C e 17,5°C, respectivamente.

O relevo desses municípios pode variar de plano a ligeiramente ondulado, o que impacta na distribuição de água e nutrientes no solo, além de influenciar na escolha de técnicas de manejo agrícola adequadas para cada tipo de terreno (SANTOS *et al*., 2018).

Em Patos de Minas, o solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, caracterizado por ser profundo e bem drenado, adequado para diversas culturas agrícolas devido à sua fertilidade natural. Em Irai de Minas, Cristalina e Morrinhos, há variação de solos que inclui Latossolos, Argissolos e Neossolos, com características específicas de fertilidade e textura que também influenciam na escolha das culturas e nas práticas agrícolas adotadas na região.

Delineamento experimental padrão entre as áreas

Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com 4 tratamentos e 5 repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela possui 3 metros de comprimento por 4 metros de largura (12 m^2). O espaçamento entrelinhas foi de 1,00 metro e o espaçamento entre plantas foi de 0,26 metro, totalizando uma população média final de 28.000 a 30.000

plantas por hectare.

Híbridos avaliados

Os híbridos utilizados foram HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228 da empresa HM.CLAUSE Brasil Comercio de Sementes LTDA (Campinas, São Paulo). O híbrido HM4890 destaca-se pela resistência ao vírus do mosaico do tabaco e à murcha de *Fusarium*, proporcionando segurança e estabilidade na produção. Esse híbrido é conhecido pelos frutos uniformes e saborosos (HM.CLAUSE, 2025).

O híbrido HM7883 é versátil e adapta-se bem a diferentes condições de cultivo, produzindo frutos maiores. Sua resistência ao nematoide das galhas e ao míldio garante uma produção consistente e durável (HM.CLAUSE, 2025).

O híbrido HM5369 é especialmente resistente a doenças fúngicas, como o oídio e a murcha de *Verticilium*, permitindo uma produção mais sustentável e reduzindo a aplicação de fungicidas na cultura (HM.CLAUSE, 2025).

O híbrido HM4228 é notável pela alta produtividade e capacidade de adaptação a diversas condições climáticas. Além disso, a resistência a pragas e doenças assegura uma colheita abundante (HM.CLAUSE, 2025).

Adubações

As adubações de plantio foram realizadas nos sulcos aplicando 400 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples), 200 kg ha^{-1} de N (ureia) e 400 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio). A aplicação desses fertilizantes foi realizada conforme as seguintes recomendações: A primeira aplicação de N foi realizada no momento do plantio, incorporando o fertilizante ao solo e a segunda aplicação quando as plantas atingiram o estágio de desenvolvimento vegetativo, geralmente entre 30 e 45 dias, após o plantio (OLIVEIRA *et al*., 2023).

Para o fósforo, a aplicação foi realizada antes do transplantio incorporando-o ao solo para garantir sua disponibilidade para as plantas desde o início (SCHEIDT; OLIVEIRA, 2024). O potássio também foi aplicado diretamente no sulco de plantio. Essa incorporação foi realizada junto com a adubação de fósforo, antes do transplantio, para assegurar que o potássio esteja disponível para as plantas durante o crescimento (SCHEIDT; OLIVEIRA, 2024). Essas práticas de adubação foram executadas para otimizar a nutrição das plantas, promovendo crescimento agronomicamente adequado e segue as diretrizes atuais visando altos rendimentos produtivos.

Parâmetros quantificados

O desenvolvimento vegetativo dos híbridos de tomate avaliados foi registrado quanto à duração do ciclo fenológico que compreendeu desde o transplantio das mudas em campo até o ponto de maturação previamente à colheita. A sanidade foi avaliada em relação à resistência dos híbridos a doenças bacterianas comuns na cultura do tomate, através de escala de notas.

As bactérias patogênicas, como *Xanthomonas vesicatoria* e *Clavibacter michiganensis*, que causam doenças comuns no tomate, foram introduzidas nas plantas de forma controlada. A inoculação foi realizada de duas maneiras: aplicando diretamente as bactérias nos tecidos das plantas usando um pincel impregnado com a suspensão bacteriana. Após a inoculação, as plantas foram monitoradas regularmente para observar o desenvolvimento de sintomas de doenças bacterianas. Sintomas como manchas foliares e murcha foram documentados e a severidade dos sintomas foi classificada utilizando uma escala de 0 a 5, em que 0 indica ausência de sintomas e 5 indica infecção severa.

O teor de sólidos solúveis (Brix) foi realizado através da medição da concentração de sólidos solúveis nos frutos, indicativo de conteúdo de açúcares e maturação. E, por fim, o rendimento dos tomates foi avaliado ao final do ciclo considerando a totalidade da produção de cada tratamento, por 30 plantas por parcela.

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à análise de variância em modelo linear misto, considerando os genótipos como efeitos fixos e os ambientes e blocos como efeitos aleatórios, conforme proposto por Resende (2007). Esse procedimento permitiu estimar a significância dos efeitos principais e da interação genótipo × ambiente (G x A), além de quantificar a contribuição relativa das variâncias associadas.

Na sequência visando avaliar conjuntamente a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos foi empregado o índice de Annicchiarico. Esse método baseia-se no cálculo do desempenho relativo (%) de cada genótipo em relação à média do ambiente, ajustado pelo desvio-padrão da resposta, resultando em um índice que sintetiza a previsibilidade do comportamento em diferentes condições ambientais. Genótipos com maiores valores de índice são considerados mais adaptáveis e estáveis (Annicchiarico 1992).

Adicionalmente utilizou-se a metodologia GGE Biplot (Genotype plus Genotype × Environment interaction) descrita por Yan *et al*. (2000) e Yan, Kang (2003). Essa

abordagem baseia-se na decomposição da matriz de efeitos principais de genótipos e da interação G × A por análise de componentes principais, permitindo a representação gráfica das relações entre genótipos e ambientes. Foram empregadas as seguintes estratégias de visualização: (i) biplot de dispersão, para observar o posicionamento relativo de genótipos e ambientes, (ii) análise *which-won-where*, para identificação de mega-ambientes e genótipos vencedores, (iii) gráfico de média versus estabilidade, visando selecionar materiais de alta produtividade associada à consistência de resposta, (iv) análise do híbrido ideal, que combina produtividade elevada e estabilidade e, por fim, (v) avaliação da discriminação e representatividade dos ambientes, a fim de identificar os locais mais informativos para seleção. Todas as análises foram realizadas em ambiente R (R Core Team, 2024), utilizando os pacotes adequados para modelos mistos, cálculos de adaptabilidade e construção dos gráficos GGE Biplot.

4 RESULTADOS

Análise de variância em modelo misto

A análise de variância realizada pelo modelo misto, considerando genótipos como efeitos fixos e blocos e ambientes como efeitos aleatórios, revelou ausência de diferenças significativas entre os genótipos avaliados para as características rendimento, teor de sólidos solúveis (ºBrix), desenvolvimento vegetativo e sanidade (Tabela 1). Embora os valores de F não tenham indicado significância estatística, observaram-se diferenças nas estimativas de variância dos efeitos aleatórios, principalmente associadas ao fator ambientes e ao resíduo. Isso sugere que a variação ambiental teve impacto relevante sobre a expressão fenotípica, ainda que não tenha sido suficiente para discriminar estatisticamente os genótipos.

Tabela 1. Análise de variância em modelo misto para características agronômicas de genótipos de tomate, considerando genótipos como efeito fixo e ambientes/blocos como efeitos aleatórios.

Rendimento (kg planta^{-1})					
Fonte (efeitos fixos)	GL	QM	F	p	Sig
Genótipos	3	0.371	1.386	0.258	ns
Genótipos × Ambientes	12	0.289	1.079	0.397	ns
Fonte (efeitos aleatórios)		σ^2	DP		
Ambientes		0.034	0.184		
Resíduo		0.268	0.518		
Teor de sólidos solúveis (ºBrix)					
Fonte (efeitos fixos)	GL	QM	F	p	Sig
Genótipos	3	0.176	0.771	0.514	ns
Genótipos × Ambientes	12	0.133	0.582	0.848	ns
Fonte (efeitos aleatórios)		σ^2	DP		

Ambientes		0.052	0.228		
Resíduo		0.229	0.478		
Desenvolvimento vegetativo					
Fonte (efeitos fixos)	GL	QM	F	p	Sig
Genótipos	3	0.400	0.458	0.713	ns
Genótipos × Ambientes	12	0.529	0.606	0.821	ns
Fonte (efeitos aleatórios)		σ^2	DP		
Ambientes		0.000	0.000		
Resíduo		0.873	0.934		
Sanidade					
Fonte (efeitos fixos)	GL	QM	F	p	Sig
Genótipos	3	0.983	1.880	0.145	ns
Genótipos × Ambientes	12	0.366	0.699	0.745	ns
Fonte (efeitos aleatórios)		σ^2	DP		
Ambientes		0.053	0.231		
Resíduo		0.523	0.723		

De maneira geral, os resultados da ANAVA indicaram que, para o parâmetro rendimento, tanto o efeito de genótipos quanto a interação genótipos x ambientes foram não significativos, apontando para comportamento relativamente uniforme entre os materiais. No caso do teor de sólidos solúveis e do desenvolvimento vegetativo, observou-se a mesma tendência, com maior contribuição da variabilidade ambiental. Para sanidade, apesar de não haver diferenças significativas, os valores de variância ambiental foram mais expressivos, reforçando a influência do ambiente no desempenho observado (Tabela 1). Esses achados sugerem que, sob as condições avaliadas, a diferenciação direta entre genótipos não foi estatisticamente detectada, mas a magnitude das variâncias ambientais e residuais apontaram para a necessidade de abordagens complementares que permitam avaliar a consistência do desempenho e a interação com os ambientes.

Apesar da ausência de significância estatística para os efeitos fixos, análises adicionais foram justificáveis, uma vez que o desempenho agronômico não depende apenas da superioridade média, mas da capacidade de adaptação e da estabilidade do comportamento em diferentes condições ambientais.

Assim, na sequência, foi aplicado o índice de adaptabilidade e estabilidade proposto por Annicchiarico (1992), que permitiu identificar genótipos com maior previsibilidade de resposta, mesmo na ausência de diferenças médias marcantes. Posteriormente a metodologia GGE Biplot foi utilizada, integrando o efeito de genótipo e a interação genótipo × ambiente. E possibilitou uma representação gráfica clara para a

formação de mega-ambientes, da discriminabilidade dos locais de teste e da resposta diferencial dos genótipos.

Índice de Annicchiarico

O índice de Annicchiarico (2002) evidenciou padrões distintos entre os híbridos de tomate (Figura 2).

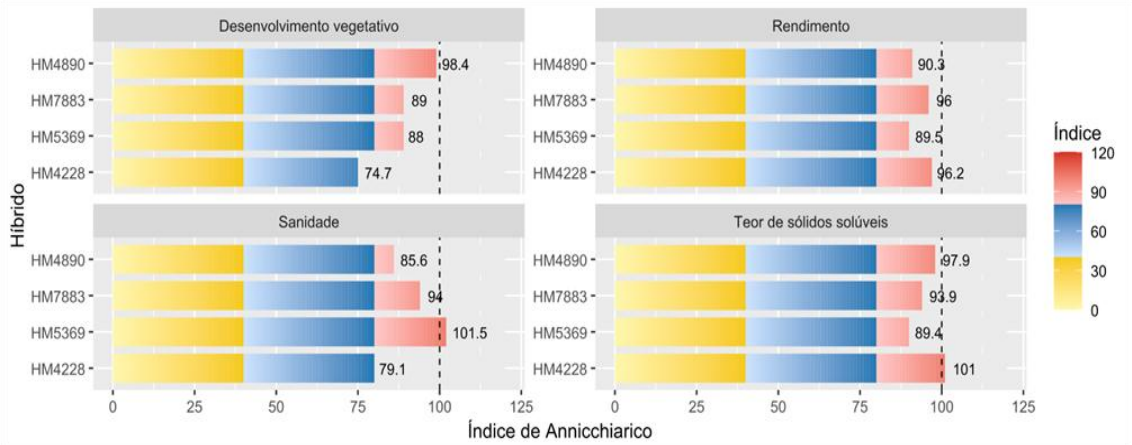

Figura 2. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228) em diferentes características agronômicas pelo índice de Annicchiarico.

O HM4890 apresentou desempenho consistente, destacando-se no desenvolvimento vegetativo e no rendimento, além de bons resultados em sanidade e sólidos solúveis, caracterizando-o como o híbrido de maior estabilidade geral. O HM5369, por sua vez, mostrou comportamento favorável, principalmente na sanidade, mantendo valores intermediários para rendimento e vegetativo, mas desempenho reduzido em sólidos solúveis. O HM7883 apresentou índices intermediários em todas as variáveis, sem se destacar em nenhuma característica específica. Já o HM4228 exibiu padrão oposto: elevado índice apenas para sólidos solúveis, mas os menores valores nas demais variáveis, indicando desempenho mais restrito.

Metodologia GGE Biplot

A decomposição da variância pelo GGE Biplot evidenciou que os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) explicaram conjuntamente 98,97% da variação total (Tabela 2), valor considerado adequado para uma interpretação robusta. O CP1 contribuiu com 60,17% e o CP2 com 38,80%, totalizando quase toda a variação associada aos híbridos e a interação com os ambientes, sob diferentes altitudes. Além disso, a relação

de informação (RI) dos dois primeiros componentes foi superior a 1,0, indicando confiabilidade na representação gráfica.

Tabela 2. Importância dos componentes principais (CP) e a relação de informação (RI) para híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228), avaliados em quatro diferentes localidades (Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina e Morrinhos) dos Cerrados Mineiro e Goiano, respectivamente.

CP	Variação explicada	Variação acumulada	RI
1	60.17	60.17	2.41
2	38.8	98.97	1.55
3	1.03	100	0.04
4	0	100	0

A distribuição dos híbridos de tomate e dos ambientes avaliados foram apresentados na Figura 3A. O híbrido HM4890 destacou-se por se posicionar isoladamente no quadrante inferior esquerdo, sugerindo desempenho específico e diferenciado em relação aos demais genótipos. Por outro lado, os híbridos HM4228 e HM7883 apresentaram proximidade no gráfico, denotando respostas semelhantes, enquanto o híbrido HM5369 apresentou clara associação ao ambiente de Iraí de Minas, o que evidencia sua adaptação específica a essa localidade.

A análise de mega-ambientes, pelo método *which-won-where* (Figura 3B), permitiu identificar a formação de dois principais setores. O híbrido HM4890 foi delimitado como vencedor em um dos setores, confirmando seu potencial em condições específicas, embora com instabilidade. Já HM5369 destacou-se como vencedor em outro setor, particularmente associado ao ambiente de Iraí de Minas, reforçando sua adaptabilidade. Os híbridos HM4228 e HM7883 não foram favorecidos em nenhum mega-ambiente, evidenciando comportamento intermediário ou menor competitividade.

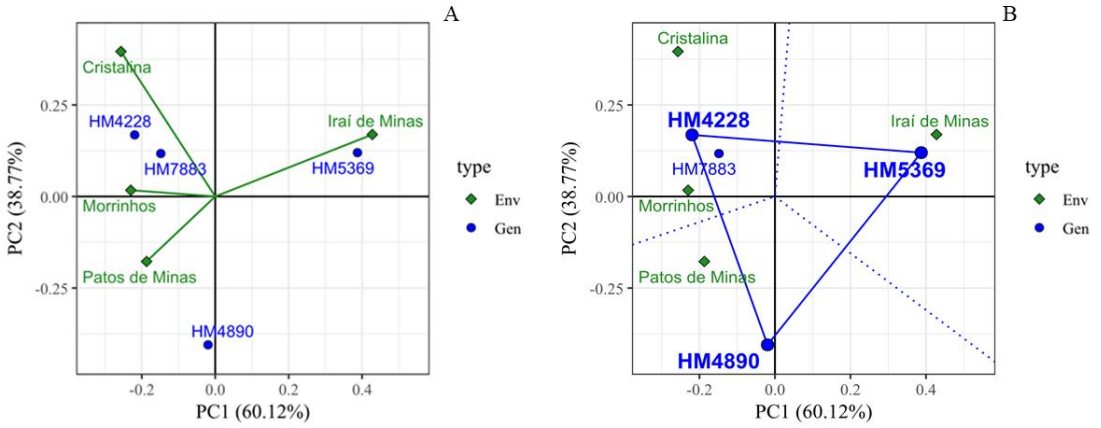

Figura 3. GGE Biplot (Figura 3A) e GGE Biplot mega-ambiente (*which-won-where*) (Figura 3B) para o rendimento de híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228) avaliados em Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina e Morrinhos nos Cerrados Mineiro e Goiano, respectivamente.

Ao analisar a relação entre média e estabilidade (Figura 4A), verificou-se que o híbrido HM5369 reuniu simultaneamente alto rendimento médio e boa estabilidade, sendo considerado um material promissor para recomendação ampla. Em contraste, o híbrido HM4890, apesar de apresentar valores elevados de produtividade em alguns ambientes, mostrou-se instável. E isso limitou a utilização em regiões mais heterogêneas. Os híbridos HM4228 e HM7883 apresentaram desempenho médio inferior e baixa estabilidade, sugerindo menor potencial para recomendação ampla.

A análise para identificação do híbrido ideal confirmou a posição de destaque do HM5369, localizado próximo ao centro do alvo formado pelas circunferências concêntricas (Figura 4B). Esse posicionamento indica simultânea alta produtividade, estabilidade e ampla adaptação. Por outro lado, embora produtivo, o híbrido HM4890 mostrou-se distante do alvo, corroborando sua instabilidade observada anteriormente. Os híbridos HM4228 e HM7883 mantiveram-se em posições mais afastadas, reforçando seu desempenho limitado.

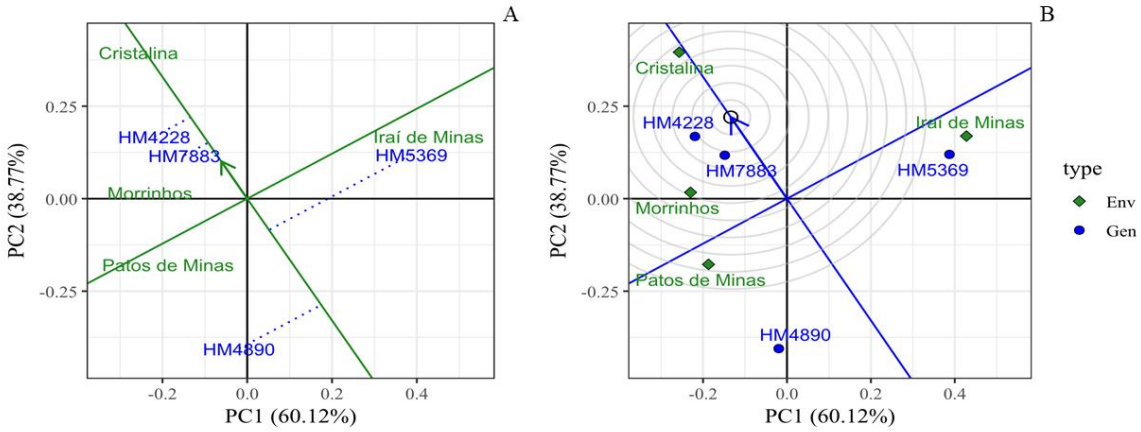

Figura 4. GGE Biplot média x estabilidade (Figura 4A) e para identificação do híbrido ideal (Figura 4B) para o rendimento de híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228) avaliados em Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina e Morrinhos nos Cerrados Mineiro e Goiano, respectivamente.

Em relação aos ambientes de avaliação (Figura 5), a análise de discriminação e representatividade apontou Iraí de Minas como o ambiente mais informativo, ao reunir boa capacidade discriminatória e representatividade média. Esse resultado sugere que avaliações conduzidas nesse local são particularmente úteis para a seleção de híbridos superiores. Em contraste, o ambiente de Patos de Minas apresentou baixa discriminação, reduzindo sua contribuição para diferenciar os genótipos. Ambientes como Cristalina e Morrinhos mostraram comportamento intermediário, podendo complementar o processo seletivo.

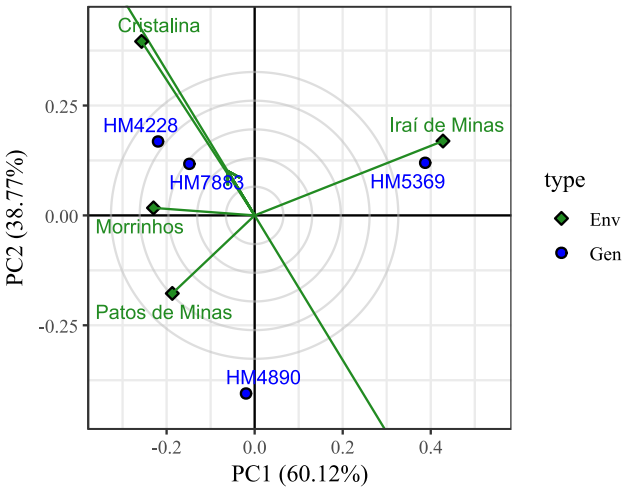

Figura 5. GGE Biplot "discriminação e representatividade" dos híbridos de tomate (HM4890, HM7883, HM5369 e HM4228) avaliados em Patos de Minas, Iraí de Minas, Cristalina e Morrinhos nos Cerrados Mineiro e Goiano, respectivamente.

De forma integrada, os resultados obtidos pelo GGE Biplot destacaram o HM5369

como o híbrido de maior interesse agronômico por aliar alta produtividade, estabilidade e adaptação ampla. O HM4890, apesar do bom potencial produtivo, apresentou instabilidade e deve ser considerado em situações específicas ou em programas de melhoramento voltados à adaptação local. Já os híbridos HM4228 e HM7883 revelaram menor desempenho relativo, com adaptação restrita. Esses achados reforçam a importância da análise GGE Biplot como ferramenta para compreender a interação genótipo × ambiente, identificar materiais superiores e definir ambientes mais representativos para a seleção de desempenho dos referidos materiais e, bem como, posicionamento agronômico.

5 DISCUSSÃO

A ausência de diferenças significativas entre genótipos nas ANOVAs de modelo misto para rendimento, °Brix, vigor e sanidade, não implica equivalência agronômica plena. Os resultados de estabilidade (Annicchiarico) e de interação G×E (GGE Biplot) revelaram contrastes mais úteis para recomendação. Em síntese, o híbrido HM5369 combinou maior média e estabilidade com adaptação ampla (associação a Iraí de Minas), HM4890 mostrou desempenho competitivo, porém instável (vencedor em um setor do *which-won-where*), HM4228 destacou-se em sólidos solúveis, e o híbrido HM7883 manteve respostas intermediárias. Iraí de Minas emergiu como ambiente mais informativo, enquanto Patos de Minas teve baixa discriminação. Esses padrões, observados em altitudes de 850–1.120m e sob regimes microclimáticos distintos, indicam que a posição ambiental explica mais da variação do que diferenças médias entre híbridos, justificando a ênfase em métricas de adaptabilidade e estabilidade para a cadeia do tomate industrial nos Cerrados.

Do ponto de vista ecofisiológico, a amplitude térmica moderada e a maior irradiância tendem a favorecer acúmulo de açúcares (°Brix) e coloração, ao passo que maior precipitação e umidade relativa podem diluir sólidos e pressionar sanidade, especialmente para doenças bacterianas foliares. Evidências recentes em ambientes tropicais/subtropicais mostram que variáveis meteorológicas (temperatura máxima e mínima, radiação e precipitação efetiva) explicam parcela substancial da produtividade e da qualidade de híbridos de tomates para processamento industrial, reforçando a necessidade de ajuste fino de janelas de plantio por local (Knapp *et al*., 2024). Em condições de aquecimento e veranicos mais frequentes, estratégias de manejo de água (déficit controlado) têm elevado °Brix sem perdas relevantes de rendimento quando bem

moduladas, o que é coerente com a vantagem relativa de HM4228 em TSS no presente estudo.

Os achados do GGE Biplot, através da variância amplamente capturada por CP1+CP2 (99%) e setores distintos de maior ranqueamento, alinham-se com trabalhos recentes em tomate que empregaram GGE/AMMI para selecionar genótipos e locais ideais. Em diferentes climas, a ferramenta tem identificado híbridos estáveis e ambientes representativos com boa concordância entre média × estabilidade, *which-won-where* e discriminação × representatividade (Masoodi *et al*., 2025; Tripodi *et al*., 2025). Assim, a priorização de Iraí de Minas como sítio-núcleo de ensaios (alta representatividade e discriminação) é consistente com a literatura. Sugerindo um desenho de rede que concentre repetições nesse local e que complemente com ambientes de discriminação específica (Cristalina e Morrinhos, como exemplos) para ampliar a previsibilidade da recomendação regional.

No eixo genótipo × manejo × ambiente, três frentes apresentaram-se de alto impacto para a cadeia produtiva do tomate para processamento industrial, cultivado nos Cerrados de Minas Gerais e Goiás. Meta-análises e séries recentes indicam que déficit de irrigação regulado (RDI) ou níveis otimizados de reposição hídrica (70% da lâmina de referência, em determinadas condições) elevam °Brix e melhoram a eficiência de uso de água/fertilizante com mínimo reflexo no rendimento, sobretudo quando combinados a fertirrigação potássica e calagem equilibrada (Zhang *et al*., 2025; Liu *et al*., 2024; Carucci et al., 2024). Uma agenda prática para os Cerrados inclui a validação local de curvas RDI por fenofase, evitando estresse reprodutivo em ondas de calor e explorando déficit leve no enchimento final para maximizar sólidos. Isso dialoga diretamente com o posicionamento de HM4228 em plantas-fábrica com bonificação por TSS, enquanto o híbrido HM5369 pode sustentar contratos de volume sob manejo hídrico conservador.

A literatura recente destaca que temperaturas elevadas desorganizam o aparato reprodutivo, aumentam as espécies reativas em oxigênio (EROs) e agravam perdas por patógenos, mas biorreguladores e bioestimulantes (algas, aminoácidos, potássio fosfito) têm mitigado impactos, melhorando firmeza e integridade de membranas em tomate industrial (Suliman *et al*., 2024; Fusco *et al*., 2025). Para o agronegócio do tomate industrial em ambos os estados, protocolos *heat-smart* deveriam combinar janelas de semeadura/transplante que evitem pico térmico na antese, bioestimulantes testados localmente em ondas de calor, tratos fitossanitários ancorados em monitoramento microclimático e previsão de risco para manchas bacterianas e cultivares-ponte (p.ex.,

HM5369) como plataforma estável enquanto materiais de tolerância térmica avançam.

Em paralelo ao Annicchiarico e ao GGE, a incorporação de índices multicaracteres de nova geração (MGIDI/WAAS/MTSI) tem acelerado a seleção de genótipos que conciliam volume, °Brix e estabilidade. Uma estratégia validada em redes recentes de tomate (Tiwari *et al*., 2025). Portanto, a adoção desses índices, aliada à amostragem de ambientes com alta capacidade discriminante, tende a reduzir ciclos de recomendação e a melhorar a acurácia de contratos baseados em sólidos (premiação por TSS ≥5,0–5,5%, como observado em benchmarks internacionais), com ganhos de eficiência industrial (menor consumo energético por ºBrix) e previsibilidade logística (associação entre estabilidade e janela de colheita).

No plano gerencial, em termos de tomada de decisões quanto à escolha desses híbridos aqui avaliados, dados públicos recentes sinalizam oscilações na safra brasileira de tomate industrial e reforçam a importância de resiliência climática e eficiência de uso de recursos para estabilizar oferta e custos. Boas práticas podem incluir a segmentação de áreas por potencial de qualidade (solos bem drenados, menor precipitação efetiva no enchimento, como sugerido por Knapp *et al*., 2024). Contratos diferenciados (volume versus qualidade), associando o híbrido HM5369 com áreas de maior risco climático e o híbrido HM4228 a polos de alto °Brix. Padronização de RDI e fertirrigação K/Ca orientadas por sensores de solo e clima e a elaboração de uma rede cooperativa (Minas Gerais-Goiás) que envolva os principais municípios produtores dessa Solanaceae para fenotipagem rápida e calibração de modelos preditivos (GGE/AMMI + clima). Uma governança que permita ajustes pré-safra de híbridos e janelas. Em termos de mercado, benchmarks internacionais indicam médias de sólidos solúveis de 5,4% em anos desafiadores, com compressão de rendimentos. Um cenário em que as variáveis estabilidade + °Brix podem se tornar um real diferencial competitivo (Cultivar/Associação, 2024; Australia Survey, 2024).

Finalmente, vale sublinhar que a concordância entre índice de Annicchiarico (estabilidade relativa do híbrido HM4890 em múltiplas variáveis, com restrições em TSS) e GGE (o híbrido HM5369 como quase-ideal) não é contraditória. Pois, os métodos respondem a perguntas diferentes e se complementam. Em pipeline prático, foram propostas triagens iniciais com Annicchiarico para filtrar previsibilidade sob grande heterogeneidade, O GGE para mapear mega-ambientes, locais-chave (Iraí de Minas) e polígonos de vitória, consolidação com índices multicaracteres (MGIDI/WAAS/MTSI) visando portfólios por contrato (volume, °Brix, risco) e, bem como, validação com

manejo hídrico/nutricional *heat-smart*. Esse arranjo aumenta a robustez da recomendação nos Cerrados brasileiros, como aqui avaliados e representados pelos estados de Minas Gerais e Goiás, com redução em perdas em anos quentes/úmidos e alinhamento às reais condições de campo com a eficiência industrial demandada pelas agroindústrias de atomatados nesses estados.

6. CONCLUSÃO

A integração metodológica empregada, modelos lineares mistos (para estimar efeitos médios sob heterogeneidade ambiental), índice de Annicchiarico (para adaptabilidade/estabilidade relativa) e GGE Biplot (para mapear G×E, *which-won-where* e ambientes mais informativos), mostrou-se decisiva para traduzir diferenças sutis de desempenho em decisões práticas para o tomate para processamento industrial nos Cerrados mineiro e goiano.

Ao longo do gradiente altitudinal (850 a 1.120m), as ANOVAs indicaram equivalência estatística entre híbridos para rendimento e °Brix, mas as métricas de estabilidade revelaram contrastes estratégicos, pois o híbrido HM5369 reuniu maior média e estabilidade (recomendação ampla). O híbrido HM4890 apresentou potencial com instabilidade, com uso dirigido a contextos específicos e manejo afinado. O híbrido HM4228 destacou-se em °Brix, representando como um material adequado a contratos com bonificação por sólidos solúveis totais, um parâmetro altamente desejado pelas agroindústrias de atomatados e o híbrido HM7883 permanecendo como intermediário entre os demais.

No nível municipal, considerando as diferenças em termos de altitude, estas análises de GGE identificaram Iraí de Minas como ambiente-núcleo (representativo e discriminante), enquanto Cristalina e Morrinhos forneceram discriminação complementar. Por fim, Patos de Minas apresentou baixa capacidade discriminatória. A integração metodológica empregada, modelos lineares mistos (para estimar efeitos médios sob heterogeneidade ambiental), índice de Annicchiarico (para adaptabilidade/estabilidade relativa) e GGE Biplot (para mapear G×E, *which-won-where* e ambientes mais informativos), mostrou-se decisiva para traduzir diferenças sutis de desempenho em decisões práticas para o tomate para processamento industrial nos Cerrados mineiro e goiano.

Ao longo do gradiente altitudinal (850 a 1.120 m), as ANOVAs indicaram

equivalência estatística entre híbridos para rendimento e °Brix, mas as métricas de estabilidade revelaram contrastes estratégicos, pois o híbrido HM5369 reuniu maior média e estabilidade (recomendação ampla). O híbrido HM4890 apresentou potencial com instabilidade, com uso dirigido a contextos específicos e manejo afinado. O híbrido HM4228 destacou-se em °Brix, representando como um material adequado a contratos com bonificação por sólidos solúveis totais, um parâmetro altamente desejado pelas agroindústrias de atomatados e o híbrido HM7883 permanecendo como intermediário entre os demais.

No nível municipal, considerando as diferenças em termos de altitude, estas análises de GGE identificaram Iraí de Minas como ambiente-núcleo (representativo e discriminante), enquanto Cristalina e Morrinhos forneceram discriminação complementar. Por fim, Patos de Minas apresentou baixa capacidade discriminatória

7. Referências

ADU-DAPAAH, H. K.; OPPONG-KONADU, E. Y. Tomato production in four major tomato-growing districts in Ghana: farming practices and production constraints. **Ghana Journal of Agricultural Science**, v. 35, n. 1, p. 11–22, 2002.

AHMAD, M.; UNIYAL, S. K.; SINGH, R. D. Patterns of alien plant species richness across gradients of altitude: analyses from the Himalayan state of Himachal Pradesh. **Tropical Ecology**, v. 59, p. 35–43, 2018.

ALI, A. et al. Effect of different nutrient management practices on yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 10, p. 1530–1542, 2020.

ALI, M. Y.; SINA, A. A. I.; KHANDKER, S. S.; NEESA, L.; TANVIR, E. M.; KABIR, A.; GAN, S. H. Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: a review. **Foods**, v. 10, n. 1, e45, 2020.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013.

ANDRADE, I. G. V.; SOUZA, G. N.; AIRES, E. S.; GOMES, I. L. S.; ROCHA, R. C.; FIGUEIREDO NETO, A.; ARAGÃO, C. A. Produtividade e qualidade de tomate italiano cultivado com diferentes formas de aplicações de cálcio. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. 1–15, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.33448/rsd-v9i12.10837. Acesso em: 18 ago. 2025.

ANNICCHIARICO, P. **Genotype × Environment Interactions: Challenges and Opportunities for Plant Breeding and Cultivar Recommendations**. Roma: FAO, 2002. (FAO Plant Production and Protection Paper, 174).

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. D. S.; MORAES, J. R. D. S. C.; VALERIANO, T. T. B.; LENSE, G. H. E. Maturation periods for Coffea arabica cultivars and their implications for yield and quality in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 3880–3891, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1002/jsfa.8905. Acesso em: 18 ago. 2025.

ÁVILA, L. N. V. **Caracterização de variedades crioulas de milho pipoca do extremo oeste de Santa Catarina por espectroscopia vibracional de infravermelho próximo**. 2018. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

AYENAN, M. A. T.; DANQUAH, A.; HANSON, P.; AMPOMAH-DWAMENA, C.; SODEDJI, F. A. K.; ASANTE, I. K.; DANQUAH, E. Y. Acelerando o melhoramento para tolerância ao calor em tomate (*Solanum lycopersicum* L.): uma abordagem integrada. **Agronomia**, v. 9, n. 11, 2019.

BISSACOTTI, A. P.; LONDERO, P. M. G.; COSTABEBER, I. H. Tomate: botânica, produção, composição nutricional e benefícios à saúde. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 38, n. 2, e26643, 2021.

BITTAR, C. A. **Performance and genetic divergence of tomato genotypes for industrial processing**. 2011. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

BOTTON, G. S. **Análise da viabilidade econômico-financeira na produção de tomate: sistemas de cultivo em ambiente protegido e a campo**. 2019. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Administração) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

BRANDÃO FILHO, J. U. T. et al. Solanáceas. In: Hortaliças-Fruto. Maringá: EDUEM, 2018. p. 37–70. Disponível em: http://dx.doi.org/10.7476/9786586383010.0004. Acesso em: 18 ago. 2025.

BRANTHÔME, F. Worldwide (total fresh) tomato production exceeds 187 million tonnes in 2020. **Tomato News**, 2022.

BURATO, A.; FUSCO, G. M.; PENTANGELO, A.; NICASTRO, R.; MODUGNO, A. F.; SCOTTO DI COVELLA, F.; RONGA, D.; CARILLO, P.; CAMPI, P.; PARISI, M. Regulated deficit irrigation to boost processing tomato sustainability and fruit quality. Sustainability, v. 16, n. 9, 3798, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16093798. Acesso em: 18 ago. 2025.

CANTELLI, G. Mercado Nacional de Tomate Cereja. Piracicaba: Adeca Agronegócios, 2018.

CARDOSO, D. B.; BORELLI, V. A. S.; PUTTI, F. F.; GÓES, B. C. Horticultura no Brasil: desafios e oportunidades na produção e sustentabilidade do tomate. **Revista Tema On-Line**, v. 2, n. 2, 2024.

CARUCCI, F. et al. An agro-physiological dataset on industrial tomatoes from deficit irrigation trials. **Data in Brief**, 2024.

CASALS, J.; RIVERA, A.; SABATÉ, J.; CASTILLO, R. R.; SIMÓ, J. Cherry and fresh market tomatoes: differences in chemical, morphological, and sensory traits and their implications for consumer acceptance. Agronomy, v. 9, n. 9, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.3390/agronomy9010009. Acesso em: 18 ago. 2025.

CASTRO, L. C. A**. Aspectos do tomate irrigado no Brasil: uma revisão integrativa**. 2021. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica) – Centro Universitário AGES, Paripiranga, 2021.

CHEN, C.; ERDOĞAN, G.; GUAJARDO, J.; IQBAL, Z.; KELMANSON, B.; LIU, C.; SPILIMBERGO, A.; XU, Y. *Changing Climate in Brazil: Key Vulnerabilities and Opportunities*. Washington, DC: International Monetary Fund, 2024. (IMF Working Paper, WP/24/186).

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Tomate: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense. Brasília, DF, 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/compendio-de-estudos-da-conab/item/12529-compendio-de-estudos-da-conab-v-21-tomate-analise-dos-indicadores-da-producao-e-comercializacao-no-mercado-mundial-brasileiro-e-catarinense. Acesso em: 18 ago. 2025.

CULTIVAR; ASSOCIAÇÃO DO TOMATE INDUSTRIAL. 2024 industrial tomato harvest declines… [Notícia setorial]. Revista Cultivar, 2024.

EVANGELISTA, Z. R.; ÁVILA, M. C. R.; FARIA, R. C.; NASCIMENTO, M. V.; VITAL, R. G.; NASCIMENTO, A. R. Tomaticultura para processamento industrial: características da produção brasileira e panorama da pesquisa científica. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 4, p. 1–18, 2022.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistics. 2021. Disponível em: https://www.fao.org/statistics/en. Acesso em: 18 ago. 2025.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109–112, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001. Acesso em: 18 ago. 2025.

FILLA, V. A. **Desempenho agronômico e qualitativo de café arábica de porte baixo em região de baixa altitude**. 2023. 144 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – UNESP, Jaboticabal, 2023.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, 2016. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13870. Acesso em: 18 ago. 2025.

FURQUIM, M. G. D.; NASCIMENTO, A. R.; SOUZA, C. B. Panorama geral da tomaticultura no estado de Goiás: uma análise descritiva a partir de levantamento bibliográfico. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e955974310, 2020.

FUSCO, G.; ADAMI, A.; PENTANGELO, A.; NICASTRO, R.; CARILLO, P.; PARISI, M.; CAMPI, P.; MODUGNO, A. F.; SCOTTO DI COVELLA, F.; BURATO, A. Processing tomato responses to plant-based biostimulants are modulated by environmental conditions. **Physiologia Plantarum**, e70450, 2025.

GEETHA, P.; RANI, I. Post harvest technology and value addition of tomatoes**. Food Science Research Journal**, v. 11, n. 2, p. 217–229, 2020.

GOMES, J. G. **Características morfoagronômicas e fisiológicas do mini tomate produzido sob elevada temperatur**a. 2016. 29 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

GONÇALVES, G. M. B.; MAYER, L. B.; SOUZA, R.; OGLIARI, J. B. Yield and

popping expansion components in local popcorn varieties from Southern Brazil. **Acta Agronómica**, v. 68, p. 213–221, 2019.

GONÇALVES, M. C. M. Eficiência agronômica do Stabilize Phos e a residualidade de fósforo no solo cultivado com plantas Café Conilon. 2023. 39 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica) – UNESP, Jaboticabal, 2023.

HM-CLAUSE. Página institucional. Disponível em: https://www.hmclause.com/br. Acesso em: 18 ago. 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal – PAM. 2022. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/estadosat. Acesso em: 18 ago. 2025.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Portal institucional. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/. Acesso em: 18 ago. 2025.

KNAPP, F. M. et al. Environmental factors affecting tomato growth for industrial processing. **Acta Scientiarum Agronomy**, 2024.

KOBORI, C. N.; HUBER, L. S.; KIMURA, M.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Teores de carotenoides em produtos de tomate. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 69, n. 1, p. 78–83, 2010.

LIU, S. QIANG, X., LIU, H., HAN, Q., YI, P., NING, H., ... & ZHANG, X. Effects of nutrient solution application rates on yield and quality of tomato. **Plants**, v. 13, 2024.

MARINHO, D. A. Genótipos de tomateiro para cultivo em ambiente protegido no semiárido. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 1, p. 100–105, 2018.

MARINHO, D. V. **Parâmetros genéticos para caracteres agronômicos no cruzamento de cultivares de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme) tolerantes a requeima (*Phytophthora infestans*).** 2018. 22 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2018.

MARTELLI, A.; RAPINESI, D.; VERDI, L.; DONATI, I. I. M.; DALLA MARTA, A.; ALTOBELLI, F. Smart irrigation for management of processing tomato: a machine learning approach. **Irrigation Science, v. 42, 2024.**

MASOODI, U. H. SHAH, I. A., EMAM, W., TASHKANDY, Y., MISHRA, P., MISHRA, N., MATUKA, A. Analysis of yield stability and genotype–environment interaction for open-pollinated tomato varieties in the Kashmir Himalaya using the AMMI model. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 23107, 2025.

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

MIRANDA, J.; DETONI, A. M.; LIMA, C. S. M.; FORLIN, D.; COTTICA, S. M. Características microclimáticas no comportamento agronômico e qualitativo de uvas 'Isabel precoce' em diferentes sistemas de condução em Santa Tereza do Oeste-PR.

Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 53165–53196, 2020.

MUELLER, S.; WAMSER, A. F.; SUZUKI, A.; BECKER, W. F. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. Horticultura Brasileira, v. 31, p. 86–92, 2015. Disponível em: https://www.scielo.br/j/hb/a/svSzgSd5cg3Cs9P8PJRJjFN/. Acesso em: 18 ago. 2025.

OLIVEIRA, L. L.; CARDOSO, G. S.; FARNEZI, P. K. B.; AZEVEDO, L. A. L.; FRANÇA, A. C. Resposta do tomate cereja à adubação organomineral para incremento na produtividade. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 8, n. 2, p. 54–61, 2023.

OLIVEIRA, V. R. Árvore do conhecimento – cebola. 2019. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cebola/arvore. Acesso em: 18 ago. 2025.

PADILHA, A. A. **Controle genético do teor de sólidos solúveis e do sabor em tomate**. 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

PANZA, M.; SILVA FILHO, D.; BLIND, A.; BARBOSA, R.; VASCONCELOS, C. Comportamento de cultivares de tomate cereja selecionadas para Amazônia Central. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 11, 2019.

PEIXOTO, J. V. M.; MORAES, E. R.; PEIXOTO, J. L. M.; NASCIMENTO, A. R.; NEVES, J. G. Tomaticultura: aspectos morfológicos e propriedades físico-químicas do fruto. **Revista Científica Rural**, v. 19, n. 1, p. 96–117, 2017.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais: exposição com exemplos e tabelas para comparação de médias.** Piracicaba: FEALQ, 2002.

REICHERT JÚNIOR, F. W. **Diversidade morfológica e efeito de duas altitudes sobre o potencial agronômico, anatomia do grão e qualidade culinária de populações locais de milho pipoca do extremo oeste de Santa Catarina**. 2021. 129 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O.; SOUZA, P. S.; LAMPARELLI, R. A. C.; SANTOS, E. R. Climate and natural quality of Coffea arabica L. drink. Theoretical and Applied Climatology, v. 141, p. 87–98, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00704-020-03117-3. Acesso em: 18 ago. 2025.

ROSA, P. H. L. **Características agronômicas de genótipos de cebola em clima tropical de baixa altitude.** 2021. 35 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agronômica) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2021.

RUBIN, C. A. **Tomate: análise dos indicadores da produção e comercialização no mercado mundial, brasileiro e catarinense**. Brasília: CONAB, 2019. 22 p.

SCHEIDT, C. A. H. R.; OLIVEIRA, R. J. P. Adubação de cobertura com potássio na cultura da cebola. **Anais da Feira do Conhecimento Tecnológico e Científico**, n. 24,

2024.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. D. B.; FURUMOTO, O.; BOITEUX, L. S.; FRANÇA, F. H.; BÔAS, G. L. V.; BRANCO, M. C.; MEDEIROS, M. A.; MAROUELLI, W.; SILVA, W. L. C.; LOPES, C. A.; ÁVILA, A. C.; NASCIMENTO, W. M.; PEREIRA, W. Cultivo de tomate para industrialização. 2007. Disponível em: https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/solos.htm. Acesso em: 18 ago. 2025.

SILVA, R. M. Interação genótipo × ambiente em híbridos de tomate para mesa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 56, e00000, 2021.

SOUSA, C. **Efeito da proporção de K_2SO_4 e KCl nos componentes da produção do tomateiro para processamento industrial na região do Cerrado**. 2023. 41 f. Dissertação (Mestrado em Olericultura) – Instituto Federal Goiano, Morrinhos, 2023.

SRINIVAS, C.; DEVI, D. N.; MURTHY, K. N.; MOHAN, C. D.; LAKSHMEESHA, T. R.; SINGH, B.; SRIVASTAVA, R. K. *Fusarium oxysporum* f. sp. lycopersici causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity– A review. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 7, p. 1315-1324, 2019.

SULIMAN, A. A.; ELKHAWAGA, F. A.; ZARGAR, M.; BAYAT, M.; PAKINA, E.; ABDELKADER, M. Boosting resilience and efficiency of tomato fields to heat stress tolerance using cytokinin (6-benzylaminopurine). **Horticulturae**, v. 10, n. 2, e170, 2024.

TIWARI, J. K.; RAI, N.; SINGH, M. K.; REDDY, Y. S.; KUMAR, R. Delineating genotype × environment interaction for horticultural traits in tomato using GGE and AMMI biplot analysis. **Scientific Reports**, v. 15, art. 23796, 2025.

TRIPODI, P.; SOLER, S.; CAMPANELLI, G.; FIGÀS, M. R.; CASANOVA, C.; SOLER, E.; SESTILI, S.; BERTONE, A.; CARDI, T.; PROHENS, J. GGE analysis and stability of traits in tomato cultivars grown under organic farming conditions: a two-year study. **Scientia Horticulturae**, 2025.

YAN, W.; KANG, M. S. **GGE Biplot Analysis: a graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists**. Boca Raton: CRC Press, 2002.

ZANOTTI, K. D. **Enraizamento de estacas caulinares de variedades de tomateiro (*Solanum lycopersicum*).** 2023.

ZHANG, X. LI, H., LIU, H., WANG, J., QIANG, X. Regulated deficit irrigation and tomato quality under salinity. **Agricultural Water Management**, 2025.