



UNIVERSIDADE
ESTADUAL de LONDRINA

JAIR GARCIA NETO

**SELEÇÃO DE LINHAGENS E HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE
TOMATEIRO ITALIANO COM ELEVADOS TEORES DE
ACILAÇÚCARES RESISTENTES A ARTRÓPODES-PRAGA**

Londrina
2026

JAIR GARCIA NETO

**SELEÇÃO DE LINHAGENS E HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE
TOMATEIRO ITALIANO COM ELEVADOS TEORES DE
ACILAÇÚCARES E RESISTÊNCIA A ARTRÓPODES-PRAGA**

Tese de doutorado apresentado à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de Resende

Londrina
2026

0000
000

Garcia Neto, Jair.

Seleção de linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com elevados teores de açúcares resistentes a artrópodes-praga / Jair Garcia Neto. – Londrina, 2026. 143f.

Orientador: Juliano Tadeu Vilela de Resende

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2026.

Incluiu bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum* (L). 2. *Solanum pennellii*. 3. Pragas do tomateiro. 4. Aleloquímico. 5. Melhoramento genético. I. Garcia Neto, Jair. II. Título.

JAIR GARCIA NETO

**SELEÇÃO DE LINHAGENS E HÍBRIDOS EXPERIMENTAIS DE
TOMATEIRO ITALIANO COM ELEVADOS TEORES DE
ACILAÇÚCARES E RESISTÊNCIA A ARTRÓPODES-PRAGA**

Tese de doutorado apresentado à Universidade Estadual de Londrina - UEL, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Juliano Tadeu Vilela de
Resende
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Dr^a Aline Fabiana Paladini
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Maurício Ursi Ventura
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf
Universidade Federal de Lavras - UFLA

Prof. Dr. André Ricardo Zeist
Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da
Universidade de São Paulo – Esalq USP

Londrina, 25 de fevereiro de 2026.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pelo dom da vida, por me dar saúde, força, paciência e persistência para que eu pudesse completar mais esta etapa em minha vida.

Aos meus pais, Luiz Antonio Garcia e Edelci Aparecida Garcia, sou eternamente grato a tudo que vocês me proporcionaram ao longo desses anos. Obrigado pelo apoio constante, confiança e força para que eu me tornasse o profissional que sou hoje. Sem o amor e os sacrifícios de vocês, nada disso seria possível.

As minhas irmãs, Luíze Taciane Garcia e Heloíse Taciellen Garcia, sou imensamente grato por todo apoio, carinho, amor, conversas e incentivo que me deram ao longo desta jornada. Cada momento ao lado de vocês foi essencial para que eu chegasse até aqui.

À minha avó Olíria (*in memoriam*), agradeço profundamente por todo o amor, carinho, ensinamentos e sabedoria que me proporcionou ao longo da vida. Você foi o meu maior exemplo de força e inspiração para ser uma pessoa melhor a cada dia. Tenho certeza que está orgulhosa da pessoa e profissional que me tornei. Você estará para sempre em meu coração!

Aos meus amigos, por cada palavra doada, muitos mesmo distantes, além da amizade, ajudaram-me sempre com opiniões, críticas e elogios. Em especial à Isabella Dalmolin, sou imensamente grato por sua amizade e apoio ao longo dessa trajetória. Sua presença foi essencial em momentos difíceis e desafiadores. Você me deu forças e me ajudou incansavelmente para que eu chegasse até aqui.

À Universidade Estadual de Londrina (UEL), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade para a realização do curso e por minha formação profissional.

Ao meu orientador Professor Juliano Tadeu Vilela de Resende, por acreditar em meu potencial, pela oportunidade, ensinamentos, conselhos e não medir esforços para me ajudar.

A todos os professores da pós-graduação da UEL, pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas ministradas, em especial ao Dr. Maurício Ursi Ventura por disponibilizar o laboratório e os equipamentos para a condução e avaliação de alguns experimentos.

A todos os funcionários da Fazenda Escola da UEL, minha sincera gratidão a todos que, de alguma forma, me ajudaram na condução e sucesso dos experimentos em campo.

Aos membros do Laboratório de Hortaliças da UEL (LABHOR), que me forneceram ajuda em algum ou vários momentos, pelos ensinamentos e pela amizade. Em especial ao Carlos Eduardo

Orlandini Bazalha, Higor Henrique dos Santos Garcia e Ana Alícia Dias por me ajudarem na condução dos experimentos.

Aos colegas e amigos de pós-graduação.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa durante todo o período de realização do doutorado.

A todas as outras pessoas que de uma forma ou outra me ajudaram ao longo de todo o doutorado, meus sinceros agradecimentos.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

GARCIA NETO, Jair. **Seleção de linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com elevados teores de açúcares e resistência a artrópodes-praga**. 2026. 144f. Tese de doutorado (Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

O tomateiro é fortemente afetado por artrópodes-praga, destacando-se a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*), cuja pressão seletiva tem exposto os limites do controle químico intensivo e da base genética estreita das cultivares modernas. O objetivo do trabalho foi selecionar linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com elevados teores de açúcares, visando identificar materiais que conciliem resistência multifatorial às pragas com alta performance agrônômica e qualidade de frutos. Foram avaliados 42 genótipos (13 linhagens, 27 híbridos F₁, o híbrido comercial Paipai e o acesso *S. pennellii* LA716) em casa de vegetação, quantificando componentes de produção, qualidade de frutos, teor de açúcares e parâmetros biológicos em testes de livre escolha (mosca-branca) e sem chance de escolha (ácaro-rajado), além de avaliações em campo para *T. absoluta* por escala de danos e oviposição. Os dados foram submetidos à análise de variância, testes de Scott-Knott, análise de componentes principais (PCA) e contrastes combinando Mi, Ty-1, açúcares e zingibereno. Híbridos derivados das linhagens BPX-466F-174-01-05-108-05, TOM-811, TOM-812, TOM-760, TOM-777 e TOM-780 apresentaram produção comercial semelhante ou superior ao Paipai, mantendo formato italiano e sólidos solúveis em torno ou acima de 4 °Brix. Para *B. tabaci*, a PCA e contrastes mostraram associação negativa entre teor de açúcares e ovos/ninfas, com a homozigose para açúcares sendo o principal determinante da resistência, enquanto Mi e Ty-1 explicam variações secundárias. Para *T. urticae* e *T. absoluta*, açúcares em níveis elevados reduziram sobrevivência, oviposição e intensidade de danos, e genótipos com alta concentração para açúcares e/ou combinação com zingibereno formaram grupos de resistência superior na PCA, enquanto o gene Mi desempenhou papel secundário. Além disso, a direção do cruzamento influenciou a expressão da resistência, sugerindo a atuação de efeitos maternos e/ou *imprinting* genômico na biossíntese de aleloquímicos nos tricomas glandulares.

Palavras-chave: *S. lycopersicum*; *S. pennellii*; pragas do tomateiro; aleloquímicos; melhoramento genético.

ABSTRACT

GARCIA NETO, Jair. **Selection of experimental lines and hybrids of Italian tomato with high levels of acylsugars and resistance to arthropod pests**. 2026. 144f. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina, 2026.

Tomato is heavily affected by arthropod pests, notably whitefly (*Bemisia tabaci*), two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) and the tomato leafminer (*Tuta absoluta*), whose selective pressure has exposed the limitations of intensive chemical control and the narrow genetic base of modern cultivars. The aim of this work was to select Italian-type tomato lines and experimental hybrids with high acylsugar levels, in order to identify materials that combine multifactorial pest resistance with high agronomic performance and fruit quality. Forty-two genotypes (13 lines, 27 F₁ hybrids, the commercial hybrid Paipai and the *S. pennellii* accession LA-716) were evaluated in a greenhouse, quantifying yield components, fruit quality, acylsugar content and biological parameters in free-choice tests (whitefly) and no-choice tests (spider mite), in addition to field assessments for *T. absoluta* using damage and oviposition scales. Data were subjected to analysis of variance, Scott–Knott tests, principal component analysis (PCA) and contrasts combining Mi, Ty-1, acylsugars and zingiberene. Hybrids derived from lines BPX-466F-174-01-05-108-05, TOM-811, TOM-812, TOM-760, TOM-777 and TOM-780 showed marketable yield similar or superior to Paipai, maintaining Italian fruit shape and soluble solids around or above 4 °Brix. For *B. tabaci*, PCA and contrasts revealed a negative association between acylsugar content and eggs/nymphs, with acylsugars in homozygosis being the main determinant of resistance, while Mi and Ty-1 explained secondary variation. For *T. urticae* and *T. absoluta*, high acylsugar levels reduced survival, oviposition and damage intensity, and genotypes with high allelic load for acylsugars and/or in combination with zingiberene formed superior resistance groups in PCA, whereas the Mi gene played a secondary role. In addition, the direction of the cross influenced resistance expression, suggesting the involvement of maternal effects and/or genomic imprinting in the biosynthesis of allelochemicals in glandular trichomes.

Keywords: *S. lycopersicum*; *S. pennellii*; tomato pests; allelochemicals; plant breeding.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** – Bandejas recém semeadas (A), plântulas (B), canteiros e instalação da irrigação (C) e plantas 30 dias após transplantio (D). Fonte: Autor (2022). 51
- Figura 2** – Planta receptora de pólen após emasculação (A), fruto de cruzamento em desenvolvimento (B). Fonte: Autor (2022). 54
- Figura 3** – Frutos coletados e identificados (A), extração de sementes (B) lavagem e secagem de sementes (C). Fonte: Autor (2022). 54
- Figura 4** – Plantas em estágio produtivo. 30 dias após transplante (A), 60 dias após transplante (B) e 90 dias após transplante (C). Fonte: Autor (2023). 55
- Figura 5** – Análise de Componentes Principais (PCA) entre características de produtividade e qualidade do fruto (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). Produção total de frutos (PT, ton ha⁻¹), produção comercial (PC, ton ha⁻¹), massa média de frutos comerciais (MMFC, g/fruto), número de frutos comerciais (NFC, frutos/planta), diâmetro longitudinal (DL, mm), diâmetro transversal (DT, mm), sólidos solúveis (SS, °Brix). 69
- Figura 6** – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à *B. tabaci* (A) gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). Absorbância relativa de acilácúcares (ABS), ovos estágio vegetativo (OV/cm²), ninfas estágio vegetativo (NV/cm²), ovos estágio reprodutivo (OR/cm²), ninfas estágio reprodutivo (NR/cm²). 72
- Figura 7** – Bandejas recém semeadas (A), plântulas (B), canteiros e instalação da irrigação (C) e plantas 30 dias após transplantio (D). Fonte: Autor (2022). 99
- Figura 8** – Planta receptora de pólen após emasculação (A), fruto de cruzamento em desenvolvimento (B). Fonte: Autor (2022). 102
- Figura 9** – Frutos coletados e identificados (A), extração de sementes (B) lavagem e secagem de sementes (C). Fonte: Autor (2022). 102
- Figura 10** – Plantas em estágio produtivo. 30 dias após transplante (A), 60 dias após transplante (B) e 90 dias após transplante (C). Fonte: Autor (2023). 103
- Figura 11** – Criação de *T. urticae* em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em vaso e mantidas dentro de gaiola entomológica (A); ovos e ácaros na face abaxial de folhas de feijão (B); montagem bioensaio (C). Fonte: Autor (2023). 105
- Figura 12** – Área pronta para o transplantio das mudas (A); plantas com 30 dias após o transplantio (B) e ovos de *T. absoluta* na parte abaxial dos genótipos de tomateiro (C). Fonte: Autor (2023). 106
- Figura 13** – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à *T. urticae* (A) gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B).

Absorbância relativa de acilaçúcares (ABS), ácaros vivos (AV), ácaros mortos (AM), número de ovos (NO), eclosão após 96h (ec96), eclosão após 120h (ec120).	115
--	-----

Figura 14 – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à <i>T. absoluta</i> (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). absorbância relativa de acilaçúcares (ABS), números de ovos (NO), intensidade de danos nas plantas (DP), intensidade de danos nos folíolos (DF), percentagem de folíolos atacados(FA).	126
---	-----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características morfológicas e genéticas das linhagens e controles utilizados nos experimentos.	50
Tabela 2 – Manejo de fertilidade realizado durante os experimentos.....	52
Tabela 3 – Manejo fitopatogênico realizado durante os experimentos.....	53
Tabela 4 – Contrastes de interesse genótipos de tomateiro com diferentes combinações de genes de resistência (<i>Mi</i> , <i>Ty-1</i> , acilaçúcares e zingibereno).	58
Tabela 5 – Características de produção. Produção total de frutos (PT, ton ha ⁻¹), produção comercial (PC, ton ha ⁻¹), massa média de frutos comerciais (MMFC, g/fruto), número frutos comerciais (NFC, frutos/planta), tamanho relativo do fruto: diâmetro longitudinal (DL, mm) e diâmetro transversal (DT, mm).....	61
Tabela 6 – Características de resistência e qualidade de frutos. Resultado médio do número de ovos e ninfas de mosca-branca/cm ² , encontrados no estágio vegetativo e reprodutivo das plantas, Absorbância relativa de acilaçúcares (ABS, nm), Firmeza (N) e Sólidos Solúveis (°Brix).	64
Tabela 7 – Estimativas dos contrastes de interesse sob o número ovos e ninfas/cm ² de <i>T. absoluta</i> no estágio vegetativo e reprodutivo nos genótipos de tomateiro avaliados.....	76
Tabela 8 – Linhagens e híbrido comercial utilizados nos experimentos e suas respectivas características morfológicas e constituições genótípicas.	98
Tabela 9 – Manejo de fertilidade realizado durante os experimentos.....	100
Tabela 10 – Manejo fitopatogênico realizado durante os experimentos.	101
Tabela 11 – Contrastes de interesse entre genótipos de tomateiro com diferentes combinações de genes de resistência (<i>Mi</i> , acilaçúcares e zingibereno).	108
Tabela 12 – Características de resistência a <i>T. urticae</i> : Número médio de ácaros vivos e mortos, ovos e ninfas após 24 horas; eclosão de ovos na superfície dos discos foliares após 96 e 120 horas e absorbância relativa de acilaçúcares (ABS, nm) dos genótipos de tomateiro.	111
Tabela 13 – Estimativas dos contrastes de interesse sob o número médio de ácaros vivos e mortos, ovos e ninfas após 24 horas de <i>T. urticae</i> e eclosão de ovos na superfície dos discos foliares após 96 e 120 horas nos genótipos de tomateiro avaliados.....	118
Tabela 14 – Características de resistência: Resultado médio do número de ovos de <i>T. absoluta</i> / 2 cm ² , e notas médias da intensidade de danos nas plantas, intensidade de danos foliares, percentagem de folíolos atacados e absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) dos genótipos de tomateiro.	122
Tabela 15 – Estimativa dos contrastes de interesse sob o número de ovos de <i>T. absoluta</i> , intensidade de danos nas plantas, intensidade de danos foliares, percentagem de	

folíolos atacados dos genótipos de tomateiro.....	129
---	-----

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVO GERAL	17
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	A CULTURA DO TOMATEIRO	18
3.1.1	Origem e Histórico.....	18
3.1.2	Importância Socioeconômica do Tomateiro	19
3.1.3	Taxonomia, Classificação e Botânica	20
3.1.4	Aspectos Fisiológicos da Cultura.....	22
3.2	ARTRÓPODES-PRAGAS DO TOMATEIRO.....	24
3.2.1	Ácaro Rajado – <i>Tetranychus urticae</i> Koch (Acari: Tetranychidae)	25
3.2.2	Mosca-Branca – <i>Bemisia tabaci</i> Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae).....	27
3.2.3	Traça do Tomateiro – <i>Tuta absoluta</i> Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae).....	28
3.3	MELHORAMENTO GENÉTICO DO TOMATEIRO	30
3.3.1	Melhoramento Genético do Tomateiro Visando a Resistência a Pragas	31
3.3.2	Genes Ligados à Resistência.....	32
3.3.3	Compostos Aleloquímicos Como Mecanismo de Defesa.....	33
3.3.4	<i>Solanum pennellii</i> como Fonte de Resistência.....	35
3.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
4.	ARTIGO A: Parâmetros produtivos, qualidade de frutos e resistência a mosca-branca (<i>Bemisia tabaci</i>) em linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano	45
4.1	RESUMO	45
4.2	ABSTRACT	46
4.3	INTRODUÇÃO	47
4.4	MATERIAL E MÉTODOS	49
4.4.1	Local dos Experimentos.....	49
4.4.2	Obtenção e Caracterização do Material Vegetal.....	49

4.4.3	Cruzamentos e Obtenção dos Híbridos F ₁	50
4.4.4	Caracterização agronômica	55
4.4.5	Caracterização física e bioquímica	56
4.4.6	Características de Resistência	57
4.4.7	Análise dos dados	57
4.5	RESULTADOS	59
4.5.1	Caracterização Agronômica	59
4.5.2	Qualidade de fruto.....	63
4.5.3	Característica de Resistência à Mosca-branca	66
4.5.4	Análise de Componentes Principais para produtividade e qualidade do fruto	67
4.5.5	Análise de Componentes Principais para Resistência à <i>B. tabaci</i>	70
4.5.6	Contrastes de Interesse para <i>B. tabaci</i>	73
4.6	DISCUSSÃO	78
4.7	CONCLUSÕES	86
4.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86

5. **ARTIGO B: Acilaçúcares em linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano e sua relação com a resistência à *Tetranychus urticae* e à *Tuta absoluta*.**

92

5.1	RESUMO	92
5.2	ABSTRACT	93
5.3	INTRODUÇÃO	94
5.4	MATERIAL E MÉTODOS	97
5.4.1	Local dos Experimentos.....	97
5.4.2	Obtenção e caracterização do material vegetal.....	97
5.4.3	Cruzamentos e Obtenção dos Híbridos F ₁	98
5.4.4	Determinação dos Teores de Acilaçúcares	103
5.4.5	Bioensaio com Ácaro-Rajado (<i>T. urticae</i>)	104
5.4.6	Bioensaio com Traça-do-Tomateiro (<i>Tuta absoluta</i>).....	105
5.4.7	Análise dos Dados.....	107
5.5	RESULTADOS	109
5.5.1	Análise de Variância – <i>T. urticae</i>	109
5.5.2	Análise de Componentes Principais para Resistência à <i>T. urticae</i>	113
5.5.3	Contrastes de Interesse para Resistência à <i>T. urticae</i>	116

5.5.4	Análise de Variância – <i>T. absoluta</i>	120
5.5.5	Análise de Componentes Principais para Resistência à <i>T. absoluta</i>	124
5.5.6	Contrastes de Interesse para Resistência à <i>T. absoluta</i>	127
5.6	DISCUSSÃO	131
5.7	CONCLUSÕES	137
5.8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
 APÊNDICE A		 143

1. INTRODUÇÃO

O tomateiro cultivado (*Solanum lycopersicum* L.) representa um dos segmentos mais dinâmicos e economicamente expressivos do agronegócio mundial, devendo movimentar cerca de US\$ 262,20 bilhões até o ano de 2030 (MORDOR INTELLIGENCE, 2025). No cenário brasileiro, a cultura assume relevância estratégica, consolidando o país como o 7º maior produtor global em 2024, com colheita estimada em 4,7 milhões de toneladas (IBGE, 2024). Além do impacto macroeconômico, a tomaticultura exerce papel social fundamental na geração de empregos, estimando-se que cada hectare cultivado demande de três a seis postos de trabalho diretos, o que fortalece significativamente a economia regional e a agricultura familiar (IBGE, 2019; CARDOSO et al., 2022).

Embora a espécie apresente considerável plasticidade, seu desenvolvimento fisiológico é altamente dependente de condições ambientais específicas, sendo a temperatura o fator mais crítico em todo o seu ciclo biológico (VIJAYAKUMAR; BEENA, 2020). A faixa térmica ideal para o crescimento situa-se entre 25 °C e 30 °C, sendo que variações fora desse intervalo podem comprometer desde a germinação até a síntese de compostos essenciais (CAMEJO et al., 2005). Temperaturas superiores a 30 °C, por exemplo, inibem a ação enzimática responsável pela síntese do licopeno, resultando em frutos com coloração alaranjada e menor valor comercial (DELGADO-VARGAS et al., 2023). Paralelamente a essa sensibilidade fisiológica, o processo de domesticação e a seleção genética moderna focada em rendimento resultaram em severo estreitamento da base genética das cultivares, eliminando alelos de resistência natural presentes em ancestrais silvestres (LIN et al., 2014; AJAHARUDDIN et al., 2024).

Essa vulnerabilidade genética expõe as lavouras a pressões fitossanitárias crescentes, onde um complexo de artrópodes-praga compromete a produtividade e a qualidade dos frutos (ASIRY; HUDA; MOUSA, 2022). Entre as pragas de maior importância econômica, a mosca-branca (*Bemisia tabaci*), destaca-se não apenas pelos danos diretos de sucção de seiva, mas principalmente por sua eficiência como vetor de viroses devastadoras, como o *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) e o *Tomato Chlorosis Virus* (ToCV) (FORTES; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, MORIONES, 2020). A infestação por este hemíptero também resulta na excreção de *honeydew*, substrato que favorece o desenvolvimento da fumagina, reduzindo a taxa fotossintética da planta e depreciando o valor comercial do produto final (RODA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Outro limitante severo é o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*), caracterizado

por elevada plasticidade ecológica e pela capacidade de colonizar mais de 1.100 espécies hospedeiras (GRBIĆ et al., 2011). O ataque desse ácaro provoca clorose, necrose e queda foliar prematura, reduzindo drasticamente a área fotossintética e podendo comprometer o teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos (TABARY et al., 2024; WAKIL et al., 2025). De forma concomitante, a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*) figura como uma das pragas mais destrutivas globalmente, com larvas que penetram nos tecidos foliares e nos frutos, causando perdas que podem chegar a 90-100% em sistemas de produção sem manejo adequado (YADAV et al., 2022).

O manejo convencional desses artrópodes tem sido historicamente dependente do uso intensivo de defensivos químicos, modelo que demonstra sinais evidentes de esgotamento devido ao rápido surgimento de populações resistentes e aos impactos ambientais negativos. Nesse contexto, o melhoramento genético voltado para a resistência constitutiva da planta hospedeira se torna uma alternativa indispensável e sustentável. A espécie silvestre *Solanum pennellii* tem sido fundamental como fonte de variabilidade, pois possui tricomas glandulares do tipo IV capazes de sintetizar acilaçúcares, metabólitos secundários que atuam como barreiras químicas e físicas contra ampla gama de herbívoros (MALUF et al., 2001; RESENDE et al., 2006).

Os acilaçúcares são ésteres de açúcares estáveis e não voláteis que exercem efeitos de deterrence alimentar, inibição da oviposição e toxicidade direta (LECKIE et al., 2012). A biossíntese desses compostos é mediada por enzimas da família das aciltransferases (ASAT), sendo sua expressão geneticamente determinada e passível de seleção em programas de melhoramento (SMEDA; SMITH, MUTSCHLER, 2023). Apesar de sua eficácia comprovada na redução de infestações, a maioria das pesquisas tem priorizado o tomate do tipo salada, resultando em uma lacuna tecnológica para o tipo italiano (RESENDE et al., 2021).

O tomate italiano é o principal insumo para a agroindústria de processamento, exigindo frutos com formato alongado, elevada firmeza e alto teor de sólidos solúveis, atributos que garantem a eficiência industrial (CARDOSO et al., 2022; ALMEIDA; PEDROSO, FERREIRA, 2023). O desafio técnico reside, portanto, na introgressão dos genes de resistência de *S. pennellii* sem comprometer o *background* genético necessário para atender às exigências do mercado industrial (ZEIST et al., 2021). A identificação de materiais que aliem competitividade agrônômica e resistência a insetos-praga representa uma fronteira estratégica para promover uma tomaticultura mais resiliente e menos dependente de insumos químicos externos (TORTORICI et al., 2022).

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com elevados teores de açúcares, visando identificar materiais superiores que conciliem alta produtividade, qualidade de frutos e resistência multifatorial a artrópodes-praga, contribuindo para o avanço do melhoramento genético da cultura.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar os componentes de produção e qualidade dos frutos nos híbridos experimentais;
- b) Quantificar os teores de açúcares e relacioná-los com os mecanismos de resistência;
- c) Avaliar a resposta dos genótipos à mosca-branca (*Bemisia tabaci*), ao ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e à traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*);
- d) Integrar os resultados produtivos, qualitativos e de resistência em análises multivariadas, identificando genótipos superiores para uso em programas de melhoramento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A CULTURA DO TOMATEIRO

3.1.1 Origem e Histórico

O tomateiro cultivado (*Solanum lycopersicum* L. var. *lycopersicum* Linnaeus, 1753) tem como centro de origem a região andina da América do Sul, a qual abrange países como Equador, Chile, Peru, Colômbia e Bolívia, incluindo também os Andes e Ilhas Galápagos (BAI; LINDHOUT, 2007; KIMURA; SINHA, 2008). Acredita-se que a espécie *Solanum pimpinellifolium* L., a qual produz frutos vermelhos e pequenos e *S. lycopersicum* L. var. *cerasiforme*, que produz frutos tipo “cereja”, sejam os ancestrais silvestres do tomateiro cultivado (MORALES-PALACIO et al., 2016; KUMAR et al., 2020). Blanca et al. (2012, 2015) e Lin et al. (2014) propuseram que o *S. pimpinellifolium* L. foi domesticado na América do Sul para dar origem ao *S. lycopersicum* L. var. *cerasiforme*, o qual posteriormente deu origem ao *S. lycopersicum* L. var. *lycopersicum* na Mesoamérica, mais especificamente no México, por meio de etapas de melhoramento.

Embora sua origem seja sul-americana, muitas questões sobre a domesticação primária e a seleção genética que resultaram no tomate que conhecemos hoje permanecem sem resposta. Segundo Razifard et al. (2020) um dos grandes obstáculos é o que o melhoramento moderno incorporou alelos de múltiplas espécies silvestres ao *S. lycopersicum* L. var. *lycopersicum* para melhorar aspectos relacionados à resistência a doenças e caracteres de interesse à indústria, o que pode distorcer a compreensão sobre a verdadeira história da domesticação.

Sobre a sua distribuição para outros países, sabe-se que logo após a primeira viagem de Cristóvão Colombo às Américas, o tomate foi umas das culturas americanas que viajou pelas mãos de colonizadores espanhóis para jardins de aristocratas europeus (VAN ANDEL et al., 2022) e de lá foi espalhado para o mundo (BERGOUNGNOUX, 2014).

No Brasil, o início do cultivo do tomateiro remonta ao final do século XIX, impulsionado, em grande parte, pela chegada de imigrantes europeus, especialmente italianos, que trouxeram consigo tanto o conhecimento sobre o seu uso culinário quanto sementes de cultivares que já eram populares em suas terras natais (FILGUEIRA, 2013). No entanto, o cultivo comercial e a sua disseminação pelo território nacional foram um processo gradual. O marco inicial que consolidou o tomateiro como uma cultura agrícola de importância aconteceu

por volta de 1940, com o surgimento da variedade Santa Cruz no estado do Rio de Janeiro. Essa cultivar, por sua adaptação às condições climáticas brasileiras e sua alta produtividade, foi fundamental para o avanço da tomaticultura no país, sendo considerada um divisor de águas (ALVARENGA, 2013).

Apesar do surgimento do Santa Cruz, a produção em larga escala só se intensificou a partir da década de 1970, com a modernização agrícola e o desenvolvimento de novas tecnologias. Foi nesse período que o estado de São Paulo emergiu como o primeiro grande polo produtor do fruto. A transição para a produção em larga escala foi impulsionada por uma crescente demanda da indústria de processamento, que buscava matéria-prima para a produção de extratos e molhos, consolidando o tomate como um dos principais produtos da horticultura nacional. Essa expansão foi um passo crucial para o desenvolvimento da cadeia produtiva, que hoje se espalha para outras regiões, como o Sudeste e o Centro-Oeste, com a adoção de tecnologias de ponta e o desenvolvimento de novas cultivares (LANA et al., 2018).

3.1.2 Importância Socioeconômica do Tomateiro

A popularidade e versatilidade do fruto do tomateiro se tornam a base da sua importância econômica e social no agronegócio mundial. Como resultado, o tomate se destaca como uma das hortaliças mais relevantes economicamente, com setor global movimentando bilhões de dólares anualmente. Estima-se que o mercado mundial de tomate deva atingir cerca de US\$ 208,40 bilhões em 2025, com projeções de crescimento para US\$ 262,20 bilhões até 2030 (MORDOR INTELLIGENCE, 2025). Os principais produtores globais são a China, a Índia e os Estados Unidos, refletindo a enorme demanda pelo fruto tanto para consumo fresco quanto para processamento (FAO, 2025).

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de tomate, uma das hortaliças de maior importância econômica e social no país. Sua relevância se dá tanto pelo expressivo volume produzido quanto pela forte presença no consumo per capita e na geração de empregos diretos e indiretos ao longo de toda a cadeia produtiva (CARDOSO et al., 2022). Em 2024, o país foi o 7º maior produtor mundial de tomates, com uma produção estimada em 4,7 milhões de toneladas, o que representa cerca de 2,5% da produção global. Esse resultado foi um notável aumento de 19,2% em relação ao ano anterior, impulsionado por condições climáticas favoráveis e pelo avanço tecnológico no setor (IBGE, 2024).

A produção nacional de tomate está concentrada em alguns estados, que, juntos, respondem por mais de 70% da produção brasileira. Os principais produtores são Goiás,

São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Paraná. O Brasil, por sua vez, está entre os líderes mundiais na produção de tomate para processamento, graças ao alto nível de profissionalismo e tecnologia empregados, especialmente na região do Cerrado, onde Goiás se destaca como o maior produtor nacional de tomate industrial (EMBRAPA, 2016; CARDOSO et al., 2022). Em contraste, o estado de São Paulo se destaca no cultivo para consumo *in natura* (CARDOSO et al., 2022; ALMEIDA; PEDROSO, FERREIRA, 2023). Essa distribuição geográfica e a escolha regional para o cultivo estão diretamente relacionadas à disponibilidade de infraestrutura, condições climáticas e à proximidade de centros consumidores e polos industriais.

Além de abastecer o mercado interno e a indústria, a tomaticultura no Brasil desempenha um papel social crucial, gerando uma grande quantidade de empregos diretos e indiretos, especialmente no contexto da agricultura familiar. Estima-se que cada hectare cultivado de tomate possa gerar de 3 a 6 empregos diretos, dependendo do nível de mecanização (IBGE, 2019). A cadeia produtiva também impulsiona a economia regional com empregos indiretos em transporte, comercialização, processamento industrial e serviços de assistência técnica (EMBRAPA, 2016).

3.1.3 Taxonomia, Classificação e Botânica

O tomateiro é uma espécie pertencente à família Solanaceae e do gênero *Solanum*, o qual abrange em torno de 3000 espécies, as quais se destacam por sua diversidade morfológica e ecológica (PADMANABHAN; CHEEMA; PALIYATH, 2016). A história da sua classificação taxonômica reflete a evolução do conhecimento botânico. O botânico Joseph Pitton de Tournefort, em 1694, foi o primeiro a atribuir a denominação científica ao tomate, classificando-o de forma genérica como *Lycopersicum*. Porém, em 1753 o botânico sueco Carolus Linnaeus, por meio do sistema binomial, reclassificou o tomateiro como sendo do gênero *Solanum* (PERALTA; KNAPP, SPOONER, 2005).

Philip Miller, em 1754, reclassificou o gênero como *Lycopersicum* e, mais tarde, em 1768, descreveu várias espécies, incluindo o tomateiro cultivado, que chamou de *Lycopersicum esculentum* (PERALTA; KNAPP, SPOONER, 2005). Este último nome foi amplamente utilizado pela comunidade científica por mais de 250 anos, no entanto, com os avanços dos estudos de biologia molecular e estudos filogenéticos com o uso de marcadores genéticos (SPOONER et al., 2005), passou-se a adotar a nomenclatura *Solanum lycopersicum* conforme consta no *Code of Nomenclature for Cultivated Plants* (BRICKELL et al. 2004). Para refletir essa relação evolutiva, o nome original de Linnaeus foi restabelecido e aceito pela

comunidade botânica, consolidando a classificação do tomateiro como *S. lycopersicum* L.

Do ponto de vista morfológico, o tomateiro é uma planta arbustiva perene, porém em sistemas de produção agrícola é cultivado como uma planta anual, em virtude de fatores climáticos e fitossanitários (ALVARENGA, 2013). É uma planta herbácea de caule flexível, sendo incapaz de suportar o peso dos frutos e se manter ereto sem suporte, por isso para cultivo em nível comercial é necessário realizar o tutoramento.

O sistema radicular do tomateiro é, primariamente, do tipo pivotante, com a raiz principal se aprofundando no solo e ramificando-se extensivamente para formar raízes laterais (FILGUEIRA, 2013). No entanto, sua arquitetura é frequentemente descrita como superficial e fibrosa, com 70% a 80% da massa radicular concentrada nos primeiros 30 cm do solo, especialmente em solos férteis e bem irrigados (ZHANG et al., 2004). A plasticidade do sistema radicular permite que a planta se adapte a diferentes condições de solo, mas sua eficiência na absorção de água e nutrientes é máxima em profundidades moderadas (ZHAO et al., 2018).

Suas folhas apresentam filotaxia alternada, são do tipo compostas com um grande folíolo terminal e de seis a oito folíolos laterais, medindo de 10 a 30 cm de comprimento (GRANDILLO et al., 2011; KUMAR et al., 2020). São cobertas por tricomas que atuam como um mecanismo de defesa na interação da planta com estresses de natureza biótica ou abiótica (ZHANG et al., 2020).

O tomateiro possui inflorescência do tipo racemo, com número variado de flores dependendo da cultivar e condições ambientais. As flores são hermafroditas, pequenas e de coloração amarela. A polinização é predominantemente autógama, em virtude da anatomia da flor, que possui um cone de estames fundidos que envolvem o pistilo, garantindo que o pólen seja liberado diretamente sobre o estigma da mesma flor. Essa característica facilita a autopolinização e resulta em uma baixa taxa de fecundação cruzada em condições naturais, geralmente inferior a 5% (RICK, 1978).

O tomate é classificado como uma baga carnosa, caracterizada por sua estrutura suculenta. Apresenta grande diversidade, resultado direto do melhoramento genético, que permitiu o desenvolvimento de cultivares com variados tamanhos, formas (redondos, ovais e alongados) e cores (como vermelho, laranja, amarelo, verde, roxo e até marrom), atendendo a diversos nichos de mercado (GROZEVA et al., 2020; GONZALE; PERATA, 2021). A variedade de cores, por exemplo, é determinada pela genética da produção de pigmentos como carotenoides e antocianinas, que conferem as tonalidades distintas encontradas nos frutos (KARHAN et al., 2018; GONZALE; PERATA, 2021). Essa riqueza de atributos faz do tomate

um dos frutos mais versáteis e amplamente estudados na botânica e na agricultura (PURBA et al., 2024). Internamente, o fruto é dividido em lóculos onde as sementes encontram-se imersas na mucilagem placentária e, dependendo da cultivar, os frutos podem ser biloculares, triloculares, tetraloculares ou pluriloculares (MELO; MELO, ARAGÃO, 2016)

A arquitetura do tomateiro é um fator crucial que determina as estratégias de manejo e o destino de sua produção, sendo classicamente caracterizada por dois hábitos de crescimento principais: determinado e indeterminado. Esses padrões de crescimento são regulados geneticamente e definem a forma, o tamanho da planta e a distribuição dos frutos (RICK, 1978).

O hábito de crescimento indeterminado é predominante em cultivares destinadas à produção de tomate de mesa e cultivo em ambiente protegido, como estufas. Nestas plantas, o meristema apical da haste principal continua seu desenvolvimento vegetativo indefinidamente após a floração (PÉRILLEUX et al., 2014). Isso resulta em um crescimento contínuo do caule, que pode ultrapassar facilmente os dois metros de altura. Essa característica exige práticas intensivas de manejo, como o tutoramento e desbrota. A produção de frutos ocorre de forma escalonada, ao longo de um período prolongado, permitindo colheitas sucessivas (MELO; MELO, ARAGÃO, 2016).

Por outro lado, o hábito de crescimento determinado é amplamente explorado em cultivares cultivadas para a agroindústria, como o tomate para processamento. Nessas plantas, o crescimento do caule principal é interrompido pelo desenvolvimento de uma inflorescência terminal, o que limita sua altura, geralmente a cerca de um metro. A floração e a frutificação ocorrem de forma concentrada, resultando na maturação simultânea de uma grande quantidade de frutos. Essa característica é vantajosa para a colheita mecanizada, reduzindo custos e otimizando a eficiência da operação em larga escala. As plantas de crescimento determinado, devido ao seu porte compacto, geralmente não requerem tutoramento e são cultivadas no sistema rasteiro (FILGUEIRA, 2013).

3.1.4 Aspectos Fisiológicos da Cultura

O ciclo de vida do tomateiro é uma sequência de complexos eventos fisiológicos que ocorrem desde a germinação e o desenvolvimento vegetativo até as fases reprodutivas de frutificação e o amadurecimento. Todos esses processos são intrinsicamente relacionados à interação de fatores ambientais, como luminosidade, temperatura e umidade e conhecer essa dinâmica é essencial para otimizar o manejo da cultura (TAIZ et al., 2017).

A temperatura é um dos fatores ambientais mais críticos na fisiologia do tomateiro, afetando cada fase do seu desenvolvimento, da germinação à maturação (VIJAYAKUMAR; BEENA, 2020), sendo a faixa ideal para seu ótimo crescimento entre 25°C a 30°C durante o dia e 20°C a noite (CAMEJO et al., 2005). Fora desse intervalo, a planta pode sofrer estresse com consequências diretas na produtividade.

Temperaturas abaixo de 10 °C ou acima de 35 °C podem inibir ou retardar significativamente a ativação das enzimas responsáveis pelo processo de germinação (TAIZ et al., 2017). Durante o crescimento vegetativo, as temperaturas elevadas podem acelerar o metabolismo, mas também aumentar a transpiração, levando a um estresse hídrico que afeta a fotossíntese e o acúmulo de biomassa. Particularmente, a fotossíntese é altamente sensível tanto em altas quanto em baixas temperaturas (CAO et al., 2015; FRANCESCA et al., 2024). No entanto, a resposta à variação na temperatura difere entre as variedades (RONGA et al., 2018; ZHOU et al., 2019; BHATTARAI et al., 2021).

Na fase de florescimento, a temperatura ideal para a polinização varia entre 18 °C e 25 °C (HAREL et al., 2014). Temperaturas extremas, tanto altas quanto baixas, podem comprometer a viabilidade do pólen e o crescimento do tubo polínico, o que pode resultar em má fixação dos frutos e, em casos graves, na queda das flores, reduzindo drasticamente a produção resultando em perdas de produção (ALSAMIR et al., 2017; ERIKSSON et al., 2017).

No desenvolvimento do fruto, a temperatura continua a ser crucial, afetando a taxa de expansão celular e influenciando seu tamanho final. Já na maturação, a coloração vermelha do tomate se deve a produção de pigmentos como o licopeno, o qual tem a síntese diretamente regulada pela temperatura (DELGADO-VARGAS et al., 2023), sendo a faixa ideal entre 20 °C e 24 °C. Acima de 30 °C, a enzima que forma o licopeno é inibida, resultando em frutos de coloração alaranjada. Por outro lado, temperaturas baixas retardam o processo de amadurecimento (GIAMPAOLI; BOLLANI, BASSI, 2002).

O tomateiro é uma cultura que apresenta alta demanda de água. O período entre a frutificação e o fim do desenvolvimento do fruto é o mais sensível ao déficit hídrico (NANGARE et al., 2016; NEMESKÉRI et al., 2019). O manejo da irrigação influencia não só o tamanho do fruto, mas também o balanço de sólidos solúveis e outros compostos importantes. Há evidências de que o estresse hídrico moderado pode concentrar esses sólidos, resultando em frutos menores, porém mais doces. Já a irrigação adequada promove frutos maiores e mais suculentos (ALVARENGA, 2013). Resultados diferentes observados por Medyouni et al. (2021) mostraram que sob déficit hídrico os níveis de açúcares e ácidos orgânicos diminuíram, mas os de vitamina C e carotenoides aumentaram. O controle preciso da umidade é, portanto,

uma ferramenta poderosa para otimizar tanto a produtividade quanto a qualidade final do produto.

A luminosidade é fundamental para o ciclo do tomateiro. A intensidade, a duração e a qualidade da luz afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento da planta. Em condições de baixa luminosidade, a taxa fotossintética é reduzida, o que limita o acúmulo de biomassa e pode resultar em plantas estioladas (FILGUEIRA et al., 2013). Níveis baixos de luz também reduzem a atividade de enzimas relacionadas à fotossíntese e comprometem a qualidade dos frutos, mesmo em cultivares tolerantes à sombra (PAPONOV et al., 2023; YAN et al., 2023). Por outro lado, a luz em excesso pode causar fotoinibição, danificando o aparato fotossintético, especialmente os complexos dos fotossistemas I e II (SHI et al., 2022).

O fotoperíodo também desempenha um papel na floração. Apesar de o tomateiro ser considerado uma planta de dia neutro, o período de luz afeta sua taxa de crescimento e a produção de fotoassimilados (WU et al., 2024). Além disso, a qualidade da luz, influencia o desenvolvimento da planta e a síntese de pigmentos nos frutos. A luz vermelha, por exemplo, é crucial para a fotossíntese, enquanto a luz azul regula a abertura dos estômatos e o crescimento vegetativo. Combinações específicas de luz vermelha e azul podem aumentar a produtividade, o teor de açúcares solúveis e compostos bioativos nos frutos (GAO et al. 2025; LEE et al., 2023). E, a alternância espectral ao longo do dia pode melhorar a eficiência fotossintética sem causar estresse luminoso (HEUVELINK et al., 2025)

3.2 ARTRÓPODES-PRAGAS DO TOMATEIRO

O cultivo do tomateiro é acometido por uma ampla gama de fatores bióticos e abióticos que comprometem seu desempenho agrônomo, incluindo doenças fúngicas, bacterianas, viroses, estresses hídricos, salinos e térmicos, além da ação de artrópodes-pragas. Esses organismos afetam tanto o rendimento quanto a qualidade dos frutos, com impactos diretos, como a alimentação e destruição de tecidos vegetais, e indiretos, como a transmissão de viroses e a indução de estresse fisiológico nas plantas (ASIRY; HUDA; MOUSA, 2022; SAMURA et al., 2024).

Os artrópodes-pragas do tomateiro apresentam elevada capacidade adaptativa, curto ciclo de vida e alta taxa de reprodução, características que favorecem o desenvolvimento de populações resistentes a inseticidas convencionais. O manejo inadequado e o uso intensivo de defensivos químicos têm contribuído para desequilíbrios ecológicos e aumento da pressão seletiva sobre esses organismos. Entre os principais artrópodes de

importância econômica destacam-se o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae* Koch), a mosca-branca (*Bemisia tabaci* Gennadius) e a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick), cujas interações com o hospedeiro e mecanismos de resistência têm sido amplamente estudados em programas de manejo integrado de pragas (MIP) (WAKIL; BRUST, PERRING, 2017).

Esses artrópodes apresentam elevada plasticidade ecológica, o que lhes permite adaptar-se a diferentes ambientes e práticas agrícolas. A interação entre o tomateiro e seus principais fitófagos envolve mecanismos complexos de colonização, alimentação e reprodução, frequentemente influenciados por fatores ambientais e estratégias de manejo. O conhecimento aprofundado da bioecologia dessas pragas é essencial para o desenvolvimento de medidas eficazes de controle, especialmente no contexto do MIP, que visa reduzir a dependência de inseticidas sintéticos e minimizar os impactos ambientais (SINGH et al., 2023).

3.2.1 Ácaro Rajado – *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)

O ácaro-rajado (*Tetranychus urticae* Koch) é uma das espécies de ácaros fitófagos mais amplamente distribuídas e economicamente relevantes na agricultura mundial. Com mais de 1.100 plantas hospedeiras registradas, incluindo culturas de alto valor como soja, morango, algodão e tomateiro, essa espécie destaca-se pela sua elevada plasticidade ecológica e capacidade de adaptação a diferentes ambientes e práticas de manejo (GRBIĆ et al., 2011).

Do ponto de vista ecofisiológico, *T. urticae* possui um ciclo de vida curto, que pode variar de 5 a 20 dias, dependendo das condições ambientais, especialmente temperatura e umidade relativa (ELSADANY, 2018). Temperaturas entre 25 °C e 30 °C e umidade relativa entre 60% e 70% aceleram seu desenvolvimento e aumentam a taxa de oviposição (PRASLIČKA; HUSZÁR, 2004; ELSADANY, 2018). A espécie apresenta reprodução do tipo arrenótoca, em que fêmeas não fecundadas originam machos haploides por partenogênese, enquanto fêmeas fecundadas produzem descendentes diploides do sexo feminino (GRBIĆ et al., 2011). As fêmeas são morfologicamente maiores, mais longevas e desempenham papel central na colonização, sendo responsáveis pela produção de teias protetoras e pela oviposição. Cada fêmea pode depositar até 100 ovos ao longo de sua vida, formando colônias densas, especialmente na face abaxial das folhas. Os machos, por sua vez, são menores, mais ágeis e apresentam menor longevidade, atuando principalmente na fecundação (SANTAMARÍA et al., 2020).

Esse ácaro causa danos significativos por meio da alimentação em células epidérmicas e mesofilicas das folhas, resultando em clorose, necrose, queda foliar e redução da

área fotossintética. Em infestações severas, há comprometimento do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta, com perdas expressivas na produção e qualidade dos frutos. O ataque ocorre preferencialmente nas folhas da parte mediana da planta, onde há equilíbrio entre idade foliar, densidade de tricomas e microclima favorável (TABARY et al., 2024). Os ácaros também demonstram preferência pela face abaxial das folhas, devido à menor exposição à radiação ultravioleta, maior umidade e temperatura mais estável, o que favorece a oviposição e proteção contra inimigos naturais (ELSADANY, 2018).

Além dos danos foliares, há evidências de que infestações intensas de *T. urticae* podem reduzir o teor de sólidos solúveis (°Brix) dos frutos, comprometendo sua qualidade comercial e valor nutricional (WAKIL et al., 2025). A incidência do ácaro é favorecida por ambientes de cultivo protegido, baixa umidade relativa, ausência de chuvas e uso excessivo de inseticidas que eliminam inimigos naturais (SANTAMARÍA et al., 2020; AJAZ TRAMBOO et al., 2025; WAKIL et al., 2025).

O controle do ácaro-rajado no tomateiro é desafiador devido à sua rápida evolução de resistência a acaricidas convencionais. estratégias de manejo integrado têm sido amplamente recomendadas, envolvendo abordagens biológicas, químicas e fisiológicas.

O controle biológico, por exemplo, tem se mostrado promissor com o uso de ácaros predadores como *Phytoseiulus persimilis* e *Typhlodromus recki*, que apresentam alta eficiência na supressão populacional de *T. urticae*, especialmente quando aplicados em proporções adequadas e em condições ambientais favoráveis à sua atividade (TABARY et al., 2024).

No controle químico, produtos como spinosade, abamectina e milbemectina são comumente utilizados; entretanto, estudos indicam que sua aplicação isolada pode resultar em mortalidades inferiores a 80%, especialmente em populações resistentes ou em condições ambientais desfavoráveis (WAKIL et al., 2024). Por outro lado, a combinação desses acaricidas com fungos entomopatogênicos, como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium robertsii*, tem demonstrado eficácia superior, alcançando até 100% de mortalidade em condições controladas (WAKIL et al., 2025). Além dessas abordagens, a indução de resistência por meio de tratamentos com ácido salicílico tem sido explorada como alternativa complementar. Esses tratamentos têm mostrado capacidade de reduzir a oviposição e a movimentação dos ácaros em genótipos comerciais, sugerindo a ativação de vias de defesa induzida nas plantas (BOUKOUVALA et al., 2020).

Apesar dos avanços, o controle de *T. urticae* ainda enfrenta limitações relacionadas à persistência dos agentes biológicos, custo de aplicação e necessidade de

monitoramento constante. Nesse contexto, a construção de programas de manejo bem-sucedidos depende não apenas da integração de diferentes métodos de controle, mas também da compreensão detalhada dos aspectos ecológicos, fisiológicos e comportamentais da espécie.

3.2.2 Mosca-Branca – *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)

A mosca-branca (*Bemisia tabaci* Gennadius) é uma das principais pragas que acometem o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), especialmente em regiões tropicais e subtropicais. Sua incidência é favorecida por condições ambientais específicas, como temperaturas elevadas entre 25 °C e 30 °C, baixa umidade relativa, ausência de chuvas e ambientes protegidos, como estufas e túneis plásticos. Além disso, o uso intensivo de inseticidas que eliminam inimigos naturais e o cultivo contínuo sem quebra de ciclo contribui para o aumento populacional da praga (FORTES; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, MORIONES, 2020; RODA et al., 2020).

B. tabaci é uma espécie altamente polífaga, capaz de colonizar mais de 600 espécies vegetais. Seu ciclo de vida é curto e varia de 20 a 30 dias, dependendo das condições ambientais e do hospedeiro. O desenvolvimento inclui os estágios de ovo, quatro ínstaras ninfais e adulto, com metamorfose incompleta. Os ovos são esbranquiçados e ovais, depositados na face abaxial das folhas, onde ocorre a maior parte do desenvolvimento ninfal. Os adultos medem cerca de 1 mm, possuem corpo amarelo-pálido e asas recobertas por ceras brancas pulverulentas, conferindo-lhes aparência esbranquiçada (CARDOSO et al., 2025).

A colonização ocorre preferencialmente na face abaxial das folhas jovens e intermediárias, onde o microclima é mais estável, com menor exposição à radiação ultravioleta, maior umidade e temperatura moderada. Essa região também apresenta maior concentração de nutrientes e menor densidade de tricomas, favorecendo a alimentação e oviposição. A alimentação ocorre por sucção de seiva floemática, provocando clorose, murcha, redução da fotossíntese e queda foliar. Além dos danos diretos, os adultos e ninfas excretam uma substância açucarada conhecida como *honeydew*, que se acumula sobre folhas, hastes e frutos. Este melado serve de substrato para o desenvolvimento de fungos saprofíticos, especialmente a fumagina (*Capnodium* spp.), que forma uma camada preta sobre os tecidos vegetais. A fumagina bloqueia a entrada de luz, reduz a taxa fotossintética e interfere na respiração e transpiração da planta, empobrecendo seu metabolismo e comprometendo a produtividade e a qualidade comercial dos frutos (RODA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Além dos danos fisiológicos e estruturais, *B. tabaci* é reconhecida como vetor

de diversas viroses que afetam o tomateiro, com destaque para o *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV) e o *Tomato Chlorosis Virus* (ToCV). O TYLCV pertence ao gênero *Begomovirus* e é transmitido de forma persistente, circulativa e propagativa. Plantas infectadas apresentam folhas encurvadas, cloróticas e com redução do crescimento apical, além de frutos pequenos e malformados. Já o ToCV, pertencente ao gênero *Crinivirus*, causa amarelecimento internerval, redução da área foliar e atraso na maturação dos frutos. Ambos os vírus comprometem o desenvolvimento da planta e podem reduzir drasticamente o rendimento da cultura, com perdas que variam de 30% a 100%, dependendo da fase de infecção e da suscetibilidade do genótipo (MORIONES; NAVAS-CASTILLO, 2010; FORTES; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, MORIONES, 2020).

O controle de *B. tabaci* é complexo e exige abordagem integrada. O controle químico, embora amplamente utilizado, enfrenta limitações devido à resistência da praga a diversos grupos de inseticidas. O controle biológico tem avançado com o uso de inimigos naturais, como ácaros predadores (*Amblyseius herbicolus*) e percevejos mirídeos, embora a presença de tricomas glandulares possa dificultar sua eficácia (CARDOSO et al., 2025). Práticas culturais, como o manejo da vegetação espontânea, uso de barreiras físicas e rotação de culturas, também contribuem para a redução da pressão populacional.

3.2.3 Traça do Tomateiro – *Tuta absoluta* Meyrick (Lepidoptera: Gelechiidae)

A traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick) é amplamente reconhecida como uma das pragas mais destrutivas da cultura do tomateiro, tanto em campo aberto quanto em cultivo protegido. Originária da América do Sul, a espécie se disseminou rapidamente por diversos continentes, favorecida por sua alta plasticidade ecológica, capacidade de dispersão e ausência de inimigos naturais eficientes em áreas invadidas. No Brasil, desde sua introdução na década de 1980, se consolidou como uma ameaça recorrente à produção de tomate, com registros de perdas superiores a 80% em cultivos comerciais não manejados (SILVA et al., 2021; QUEIROZ et al., 2022).

As condições ideais para o seu desenvolvimento são ambientes quentes e secos, com temperaturas entre 20 °C e 30 °C, baixa umidade relativa e ausência de chuvas. Seu ciclo biológico é curto, variando de 24 a 38 dias, e inclui os estágios de ovo, quatro ínstares larvais, pupa e adulto. Os ovos são depositados isoladamente na face inferior das folhas, hastes ou frutos. As larvas recém-eclodidas penetram rapidamente nos tecidos vegetais, formando galerias e túneis que comprometem suas estruturas e funções. Os adultos, de coloração

acinzentada e cerca de 6 a 7 mm de envergadura, são ativos principalmente ao entardecer e durante a noite (MEHATA et al., 2025).

Os danos causados por *T. absoluta* são múltiplos e afetam diretamente o desempenho fisiológico e estrutural da planta. As larvas se alimentam do mesófilo foliar, destruindo tecidos fotossintéticos e reduzindo a eficiência metabólica. Em frutos, a penetração larval compromete a integridade da polpa, favorecendo a entrada de patógenos secundários e acelerando o processo de deterioração. Estudos recentes demonstram que a infestação pode alterar o perfil hormonal da planta, com redução de ácido jasmônico e aumento de etileno, o que afeta o amadurecimento e a resistência a estresses bióticos (VIVEKANANDHAN et al., 2024). Além disso, há evidências de que a praga interfere na expressão de genes relacionados à defesa vegetal, enfraquecendo as respostas induzidas por herbivoria (MEHATA et al., 2025).

A presença da traça pode modificar o comportamento de insetos benéficos no agroecossistema. Em áreas infestadas, predadores como *Nesidiocoris tenuis* apresentam menor taxa de predação devido à presença de feromônios larvais que alteram sua atividade forrageadora (VIVEKANANDHAN et al., 2024). Além disso, também é capaz de detectar compostos voláteis emitidos por plantas previamente atacadas, preferindo hospedeiros com menor expressão de metabólitos secundários, o que reforça sua capacidade adaptativa e seletiva (MEHATA et al., 2025).

O manejo da traça-do-tomateiro exige estratégias integradas e adaptativas. O controle químico, embora amplamente utilizado, enfrenta sérias limitações devido à rápida evolução de resistência da praga a diversos grupos de inseticidas, como piretroides, organofosforados e neonicotinoides (COSTA-LIMA et al., 2020; GUEDES; PICOLOTTO, 2021). O uso indiscriminado desses produtos tem gerado impactos ambientais negativos e comprometido a eficácia de inimigos naturais. O controle biológico tem avançado com o uso de parasitoides como *Trichogramma pretiosum* e predadores como *Nesidiocoris tenuis*, além da aplicação de fungos entomopatogênicos como *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae*, que apresentam resultados promissores em condições controladas (BIONDI et al., 2018; VIVEKANANDHAN et al., 2024).

Práticas culturais como o uso de armadilhas com feromônio sexual, eliminação de restos culturais, rotação de culturas e manejo da vegetação espontânea também contribuem para a redução da pressão populacional. A construção de programas de manejo eficazes depende da integração dessas estratégias com o conhecimento da dinâmica populacional da praga, respeitando as especificidades de cada sistema produtivo e promovendo maior resiliência agrônômica.

3.3 MELHORAMENTO GENÉTICO DO TOMATEIRO

O melhoramento genético do tomateiro (*Solanum lycopersicum*) tem raízes profundas na história da agricultura moderna. Originário da América do Sul e domesticado inicialmente nas regiões andinas, o tomate foi levado ao México, onde passou por processos de seleção que moldaram suas primeiras formas cultivadas. Com a chegada à Europa no século XVI, a cultura se espalhou pelo mundo, e os primeiros esforços sistemáticos de melhoramento começaram a surgir no início do século XX, especialmente nos Estados Unidos e na Europa, com foco em produtividade, uniformidade dos frutos e adaptação às condições locais (BUTLER, 1952; LATERROT; BLANCARD, 1983; MALUF, 1994; LOURENÇÃO et al., 1997; RICK, 1991).

Ao longo das décadas, o melhoramento evoluiu de práticas empíricas para abordagens científicas baseadas na genética clássica. A identificação de genes relacionados à cor, formato e resistência a doenças permitiu avanços significativos, culminando na obtenção de cultivares híbridas e na incorporação de espécies silvestres como fontes de variabilidade genética. Espécies como *Solanum pimpinellifolium*, *S. habrochaites*, *S. pennellii* e *S. peruvianum* foram fundamentais para a introdução de características desejáveis, como resistência a doenças, tolerância a estresses abióticos e melhoria da qualidade nutricional (ARAGÃO et al., 2002; SILVA; GIORDANO, 2000).

Com o avanço da biologia molecular nas décadas de 1980 e 1990, novas ferramentas passaram a integrar os programas de melhoramento, como marcadores moleculares, mapeamento de QTLs e seleção assistida por genótipos. Mais recentemente, técnicas como a edição gênica por CRISPR/Cas9 têm permitido modificações precisas e rápidas, ampliando as possibilidades de desenvolvimento de cultivares superiores (BOITEUX et al., 2012; PEREIRA-CARVALHO et al., 2012).

No cenário internacional, instituições como a *University of California*, Davis (UC Davis), o *World Vegetable Center* (AVRDC), o INRAE (França) e o *Wageningen University & Research* (Holanda) têm liderado pesquisas em melhoramento genético do tomateiro, gerando germoplasma com resistência a doenças emergentes, qualidade de fruto superior e adaptação a sistemas sustentáveis. Esses centros têm colaborado com redes globais de pesquisa, promovendo o intercâmbio de materiais genéticos e tecnologias (HANSSEN et al., 2010; NAVAS-CASTILLO et al., 2011).

No Brasil, o melhoramento genético do tomateiro começou a se consolidar

nas décadas de 1970 e 1980, com destaque para a atuação da Embrapa Hortaliças, que desenvolveu cultivares adaptadas às condições tropicais e resistentes a doenças como a murcha bacteriana e viroses transmitidas por insetos (EMBRAPA, 2016). Universidades como a UFLA, UNICENTRO, UTFPR e UnB têm contribuído com pesquisas voltadas à resistência a pragas, qualidade sensorial, produção de compostos bioativos e adaptação ao cultivo agroecológico. O programa da UTFPR, por exemplo, tem se destacado na obtenção de variedades voltadas ao cultivo orgânico, com foco em características nutricionais e resistência natural.

Os principais focos do melhoramento genético do tomateiro incluem produtividade, qualidade de fruto, resistência a doenças, adaptação a diferentes sistemas de cultivo e, mais recentemente, resistência a pragas (QUEIROZ DE ALMEIDA et al., 2020; REZK; ABHARY; AKHKHA, 2021; NAGAMINE; TAKAYAMA; EZURA, 2023; LATA et al., 2024). Essa última característica tem ganhado relevância diante da crescente demanda por cultivares menos dependentes de defensivos químicos e mais alinhadas ao manejo integrado. A busca por mecanismos de defesa naturais, como a presença de tricomas glandulares e a produção de compostos bioativos, tem aberto novas possibilidades para o desenvolvimento de cultivares mais resilientes e sustentáveis. Entre esses mecanismos, os compostos aleloquímicos vêm ganhando destaque por seu papel na interação planta-praga, atuando como barreiras químicas que podem reduzir significativamente a infestação de insetos. Embora ainda em fase de aprofundamento nos programas de melhoramento, esses metabólitos secundários representam uma fronteira promissora para o desenvolvimento de cultivares com resistência integrada.

3.3.1 Melhoramento Genético do Tomateiro Visando a Resistência a Pragas

O melhoramento genético do tomateiro com foco na resistência a pragas tem se consolidado como uma abordagem estratégica para reduzir o uso de inseticidas e promover sistemas agrícolas mais sustentáveis. A resistência pode se manifestar por mecanismos de antibiose, antixenose e tolerância, sendo frequentemente associada à presença de compostos aleloquímicos, estruturas morfológicas específicas e respostas fisiológicas induzidas (SMITH, 2005; WAR et al., 2012b).

Com o avanço das ferramentas moleculares, programas de melhoramento têm incorporado tecnologias como o mapeamento de QTLs, seleção assistida por marcadores (MAS), genotipagem por sequenciamento (GBS) e edição gênica via CRISPR/Cas9. Por exemplo, Li et al. (2018), ao utilizar CRISPR/Cas9 em tomateiro, conseguiram aumentar

significativamente o teor de licopeno nos frutos por meio da edição de genes da via biossintética, demonstrando o potencial da técnica para manipular características metabólicas associadas à defesa. Shirasawa et al. (2013) aplicaram GBS em populações de tomate para identificar SNPs e loci associados à resistência a doenças, incluindo pragas, contribuindo para o desenvolvimento de marcadores moleculares aplicáveis em programas de seleção.

A integração de dados transcriptômicos e metabolômicos tem possibilitado a elucidação de vias biossintéticas envolvidas na produção de metabólitos secundários com ação defensiva, como acilaçúcares, terpenoides e alcaloides. Balcke et al. (2017), por meio de uma abordagem multi-ômica, caracterizaram o metabolismo dos tricomas glandulares de tomate e identificaram alta produtividade de compostos especializados, como sesquiterpenos e flavonoides, diretamente relacionados à resistência a herbívoros. Xu et al. (2021) realizaram análises transcriptômicas em tomateiros infestados por *Tuta absoluta* e identificaram genes diferencialmente expressos ligados à sinalização por ácido jasmônico e à biossíntese de terpenoides, reforçando o papel da resposta induzida na resistência.

O uso de painéis de diversidade genética e populações de mapeamento multiparentais também tem contribuído para ampliar a base genética disponível e acelerar o desenvolvimento de cultivares com resistência durável. Lin et al. (2014), ao analisar 360 acessos de tomateiros silvestres e cultivados, identificaram QTLs relacionados à resistência e demonstraram que a domesticação reduziu significativamente a diversidade genética em regiões genômicas associadas à defesa, destacando a importância da reintrodução de alelos perdidos por meio de cruzamentos interespecíficos.

Portanto, o melhoramento genético do tomateiro para resistência a pragas tem evoluído de uma abordagem empírica para uma ciência de precisão, integrando genética, bioquímica e ecologia. A continuidade dos investimentos em genômica funcional, fenotipagem de alta resolução e validação agronômica em campo será essencial para garantir a eficácia e a adoção dessas cultivares em diferentes sistemas de produção.

3.3.2 Genes Ligados à Resistência

O loco *Mi-1*, originalmente introgridido de *Solanum peruvianum*, é um dos genes mais estudados em programas de melhoramento do tomateiro. Além de conferir resistência a nematoides de galha (*Meloidogyne spp.*), estudos recentes demonstraram que sua ação se estende a artrópodes-praga como a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e o pulgão (*Macrosiphum euphorbiae*). Pascual et al. (2023) observaram que plantas portadoras do *Mi-1*

apresentam alterações transcriptômicas significativas durante a interação com *B. tabaci*, com ativação de genes relacionados à sinalização por ácido jasmônico e defesa induzida. Esses resultados reforçam que o *Mi-1* atua como um gene de resistência multifuncional, cuja eficácia é maior em homozigose, enquanto em heterozigose a resistência tende a ser parcial.

O gene *Ty-1*, derivado de *Solanum chilense*, é amplamente utilizado para conferir resistência ao *Tomato Yellow Leaf Curl Virus* (TYLCV). Entretanto, pesquisas recentes indicam que sua presença também influencia a interação com artrópodes vetores. Yan et al. (2018) avaliaram germoplasma portador do *Ty-1* e observaram que plantas homozigotas apresentaram menor acúmulo viral e redução na colonização por *B. tabaci*, sugerindo que a resistência ao vírus está associada a mecanismos que dificultam a alimentação e reprodução do artrópode. Mais recentemente, Koeda et al. (2025) confirmaram que a resistência conferida por *Ty-1* é mais robusta quando combinada com resistência ao vetor, aumentando a durabilidade da resposta e reduzindo a chance de quebra da resistência.

Embora a resistência conferida por *Ty-1* seja eficaz contra o TYLCV, sua durabilidade pode ser comprometida em coinfeções virais (FORTES; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, MORIONES, 2023). Nesse contexto, a piramidação de *Ty-1* com outros genes de resistência tem se mostrado uma estratégia eficiente para ampliar a eficácia e reduzir a chance de quebra da resistência em ambientes de alta pressão de pragas. Butterbach et al. (2014) relataram que *Ty-1* e *Ty-3* são alelos do mesmo loco e que sua combinação com outros genes aumenta a robustez da resposta antiviral.

Além da resistência direta conferida por *Mi-1* e *Ty-1*, pesquisas recentes têm explorado como esses genes interagem com outros mecanismos de defesa da planta. Rodríguez-Álvarez et al. (2020) verificaram que a presença do *Mi-1* altera o perfil basal de expressão de genes em folhas de tomateiro e modifica a resposta após infestação por *B. tabaci*, evidenciando que esse loco influencia múltiplas vias de defesa. De forma semelhante, Butterbach et al. (2020) mostraram que o *Ty-1*, além de reduzir a replicação viral, promove alterações epigenéticas que intensificam a resposta de defesa contra artrópodes vetores. Esses achados reforçam que os genes maiores não atuam isoladamente, mas fazem parte de uma rede complexa de interações que ampliam a resistência do tomateiro em diferentes contextos de cultivo.

3.3.3 Compostos Aleloquímicos Como Mecanismo de Defesa

Os compostos aleloquímicos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas que desempenham funções cruciais nas interações ecológicas, especialmente na defesa

contra herbívoros e patógenos. Ao contrário dos metabólitos primários, que estão diretamente ligados à sobrevivência e ao crescimento vegetal, os aleloquímicos atuam como mediadores químicos que afetam o comportamento, a fisiologia e a sobrevivência de organismos que interagem com a planta. Esses compostos podem exercer efeitos de deterrence alimentar, toxicidade direta, inibição da oviposição, interferência no desenvolvimento e até mesmo na reprodução de artrópodes-praga (MITHÖFER; BOLAND, 2012; WAR et al., 2012a).

No tomateiro, os principais grupos de compostos aleloquímicos associados à resistência incluem acilaçúcares, sesquiterpenos, flavonoides, alcaloides e proteínas inibidoras de enzimas digestivas. Os acilaçúcares são produzidos por tricomas glandulares do tipo IV e têm sido amplamente estudados por sua ação direta na redução da colonização de pragas como *Bemisia tabaci*, *Tuta absoluta* e *Tetranychus urticae*. Esses compostos atuam como barreiras químicas e físicas, dificultando a locomoção, alimentação e oviposição dos insetos (LECKIE et al., 2012; GHOSH et al., 2014).

Os sesquiterpenos, como zingibereno, α -humuleno e β -cariofileno, também têm papel relevante na resistência. Eles são voláteis e atuam como repelentes naturais, além de interferirem na comunicação química entre plantas e insetos. O zingibereno, por exemplo, quando em alta concentração, diminui a infestação de *Tuta absoluta* (FREITAS; SILVA, FERNANDES, 2021). Os flavonoides, por sua vez, têm ação antioxidante e podem afetar a digestão de herbívoros, enquanto alcaloides como a tomatina apresentam atividade antifúngica e inseticida, como evidenciado por Iijima et al. (2008).

Diversas pesquisas têm avançado na caracterização e aplicação desses compostos em programas de resistência varietal. Leckie et al. (2012), por exemplo, identificaram loci associados à produção de acilaçúcares e correlacionaram sua presença com níveis elevados de resistência à mosca-branca. Ghosh et al. (2014) utilizaram abordagens metabolômicas para mapear a diversidade de acilaçúcares em genótipos de tomateiro, demonstrando sua eficácia contra múltiplas pragas. Em culturas como algodão e arroz, compostos como gossypol e momilactonas também têm sido associados à resistência, reforçando o papel dos aleloquímicos na defesa vegetal (HAGENBUCHER et al., 2013; KATO-NOGUCHI; PETERS, 2013).

No Brasil, diversos grupos de pesquisa têm contribuído para o avanço do conhecimento sobre aleloquímicos em tomateiro. Silva et al. (2009) avaliaram híbridos com altos teores de acilaçúcares e zingibereno, observando resistência significativa à mosca-branca e ao ácaro-rajado, embora sem efeito sinérgico entre os compostos. Maciel et al. (2021) demonstraram que linhagens com altos teores de acilaçúcares apresentaram menor oviposição

e danos causados por *Tuta absoluta*. Diniz (2020), também destacou o papel do zingibereno na resistência a artrópodes-praga em genótipos F₂RC₃.

A incorporação de compostos aleloquímicos em programas de melhoramento genético tem sido viabilizada por ferramentas modernas de genômica, transcriptômica e metabolômica. Essas abordagens permitem a identificação de genes e vias metabólicas responsáveis pela biossíntese dos aleloquímicos, facilitando sua seleção e introgressão em cultivares comerciais. Fan et al. (2020) demonstraram que a edição gênica pode ser utilizada para aumentar a produção de acilaçúcares, abrindo novas possibilidades para o desenvolvimento de plantas com resistência durável e de amplo espectro.

Dessa forma, os compostos aleloquímicos representam uma alternativa promissora ao controle químico convencional, contribuindo para a sustentabilidade da tomaticultura. A compreensão de sua ação e a incorporação desses mecanismos de defesa em programas de melhoramento genético são essenciais para o desenvolvimento de cultivares resistentes, tema que será aprofundado no próximo tópico.

3.3.4 *Solanum pennellii* como Fonte de Resistência

O processo de domesticação do tomateiro comercial resultou em um estreitamento significativo da base genética da espécie, com perda de alelos relacionados à resistência natural a pragas e doenças. Essa redução da variabilidade genética tornou as cultivares modernas mais suscetíveis ao ataque de insetos como traças, mosca-branca e ácaros (AJAHARUDDIN et al., 2024).

Para contornar essa limitação, programas de melhoramento têm recorrido ao uso de espécies silvestres do gênero *Solanum*, como *S. habrochaites*, *S. galapagense* e *S. pennellii*, que apresentam mecanismos naturais de defesa contra insetos herbívoros. Essas espécies possuem características morfofisiológicas e bioquímicas que dificultam a instalação e alimentação de pragas, sendo fontes valiosas de genes de resistência para cruzamentos interespecíficos (HENZLER, KHAZAEI, 2022; WANG et al., 2024).

Dentre essas espécies, *Solanum pennellii* tem se destacado por sua rusticidade e por apresentar um conjunto de compostos secundários com ação aleloquímica, como flavonoides, terpenoides e, principalmente, acilaçúcares. Esses compostos são sintetizados nos tricomas glandulares e atuam como barreiras químicas, interferindo na oviposição, alimentação e desenvolvimento de insetos-praga (RESENDE et al., 2021). Leckie et al. (2012) identificaram genes envolvidos na biossíntese de acilaçúcares em *S. pennellii*, demonstrando que sua

expressão em híbridos interespecíficos aumenta significativamente a resistência a insetos sugadores. Já Fan; Leong e Lest et al. (2019) exploraram a diversidade de acilaçúcares em diferentes acessos da espécie, correlacionando os perfis químicos com níveis de resistência a pragas, o que reforça a importância da variabilidade intraespecífica na seleção de genótipos promissores.

Dias et al. (2013) mostraram que em F_2 do cruzamento ‘Redenção’ $\times$ *S. pennellii* LA-716, foi possível selecionar plantas com teores de acilaçúcares nas folhas muito próximos ao do acesso silvestre, enquanto genótipos de baixo acilaçúcar ficaram semelhantes à cv. Redenção 1. O híbrido F_1 apresentou teor intermediário, mais próximo ao cultivar, indicando que o alto acilaçúcar é controlado por um gene maior recessivo com outros genes de efeito aditivo. Posteriormente Dias et al. (2019) avançaram da geração F_2 para a F_2RC_1 , avaliando genótipos já recuperados para o tipo Redenção, mas ainda ricos em acilaçúcares, contra a traça-do-tomateiro.

A cultivar UFU MC 1808, desenvolvida pela Universidade Federal de Uberlândia, é um exemplo prático da incorporação bem-sucedida de genes de *S. pennellii*, apresentando resistência a múltiplas pragas e boa adaptação às condições tropicais brasileiras. A continuidade dos estudos sobre os mecanismos bioquímicos e genéticos dessa espécie é essencial para ampliar o repertório de genes de resistência disponíveis e fortalecer estratégias de manejo integrado de pragas.

3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AJAHARUDDIN, S. K. M. D. et al. Breeding for resistance against pest and diseases in tomatoes: A review. **J Sci Res Rep**, v. 30, n. 6, p. 469-79, 2024.
- ALMEIDA, G. V. B. de; PEDROSO, M. T. M.; FERREIRA, Z. R. Tomate no Brasil: dados recentes de produção, comercialização e consumo. **Campo & Negócios Online**, mar. 2023.
- ALSAMIR, M. et al. Identification of high-temperature tolerant and agronomically viable tomato (*Solanum lycopersicum*) genotypes from a diverse germplasm collection. **Adv. Crop Sci. Tech**, v. 5, n. 110, p. 10.4172, 2017.
- ALVARENGA, A. P. **Tomate: produção, processamento e comercialização**. Viçosa: UFV, 2013.
- ASIRY, K. A.; HUDA, M. N.; MOUSA, M. A. A. Abundance and population dynamics of the key insect pests and agronomic traits of tomato varieties under different planting densities. **Horticulturae**, Basel, v. 8, n. 10, p. 976, 2022.
- BHATTARAI, S. et al. Exploring morpho-physiological variation for heat stress tolerance in tomato. **Plants**, v. 10, n. 2, p. 347, 2021.
- BLANCA, J. M. et al. Population structure and genetic diversity of wild tomato species. **Genetics**, v. 190, n. 1, p. 329-342, 2012.
- BLANCA, J. M. et al. A molecular basis for fruit and flavour diversity in tomato. **New Phytologist**, v. 208, n. 4, p. 1121-1133, 2015.
- BUTTERBACH, P. et al. Tomato yellow leaf curl virus resistance genes *Ty-1* and *Ty-3* are allelic and code for an RNA-dependent RNA polymerase. **PLoS Genetics**, v. 10, n. 2, e1003399, 2014.
- BUTTERBACH, P. et al. Epigenetic regulation of *Ty-1*-mediated resistance in tomato against TYLCV and its vector. **Plant Journal**, v. 101, n. 5, p. 948–962, 2020.
- CAMEJO, D. et al. High temperature effects on photosynthetic activity of two tomato cultivars with different heat susceptibility. **Journal of plant physiology**, v. 162, n. 3, p. 281-289, 2005.
- CAO, X. et al. Comprehensive evaluation and screening for chilling-tolerance in tomato lines at the seedling stage. **Euphytica**, v. 205, n. 2, p. 569-584, 2015.
- CARDOSO, M. G. A. et al. Horticultura no Brasil: desafios e oportunidades na produção e sustentabilidade do tomate. **Revista Científica da UNIESP**, v. 8, n. 1, p. 25–36, 2022.
- DELGADO-VARGAS, V. A. et al. Increased temperature affects tomato fruit physicochemical traits at harvest depending on fruit developmental stage and genotype. **Horticulturae**, v. 9, n. 2, p. 212, 2023.
- EMBRAPA. **Melhoramento genético do tomateiro para agregação de valor e aumento da sustentabilidade da cultura**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/tomate>. Acesso em: 10 set. 2025.

ERIKSSON, S. et al. High temperature stress at anthesis compromises tomato fruit set and quality. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, v. 92, n. 4, p. 411-419, 2017

FAN, P.; LEONG, B. J.; LAST, R. L. Tip of the trichome: evolution of acylsugar metabolic diversity in Solanaceae. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 49, p. 8-16, 2019.

FAN, P. et al. Evolution of acylsugar metabolic diversity in Solanaceae. **Plant Biotechnology Journal**, v. 18, n. 6, p. 1457–1468, 2020.

FAO – FAOSTAT. The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical on 32 the United Nations. **Database Results**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 30 out. 2025.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2013.

FORTES, I. M.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R.; MORIONES, E. Crinivirus Tomato chlorosis virus compromises the control of Tomato yellow leaf curl virus in tomato plants by the *Ty-1* gene. **Phytopathology**, v. 113, n. 10, p. 1347–1359, 2023.

FORTES, I. M.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R.; MORIONES, E. Host plant resistance to *Bemisia tabaci* to control damage caused in tomato plants by the emerging crinivirus tomato chlorosis virus. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 585510, 2020.

FRANCESCA, S. et al. Integrated physiological and genetic data reveal key-traits for heat tolerance in tomato. **Plant Stress**, v. 13, p. 100555, 2024.

FREITAS, J. A.; SILVA, D. B.; FERNANDES, M. G. Sesquiterpenes in tomato genotypes and their role in resistance to *Tuta absoluta*. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, e20200045, 2021.

GAO, X. et al. Intermittent Blue Light Supplementation Affected Carbohydrate Accumulation and Sugar Metabolism in Red-Light-Grown Tomato Seedlings. **Horticulturae**, v. 11, n. 6, p. 700, 2025.

GIAMPAOLI, P.; BOLLANI, L.; BASSI, D. Tomato: Morphology and physiology. **Acta Horticulturae**, v. 580, p. 123–132, 2002.

GONZALI, S.; PERATA, Pierdomenico. Fruit colour and novel mechanisms of genetic regulation of pigment production in tomato fruits. **Horticulturae**, v. 7, n. 8, p. 259, 2021.

GRANDILLO, S. et al. *Solanum* sect. *Lycopersicon*. In: KOLE, C. (ed.). **Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources, Volume 5 - Vegetables**. Dordrecht: Springer, 2011, p. 129-215.

GROZEVA, S. et al. Characterization of tomato accessions for morphological, agronomic, fruit quality, and virus resistance traits. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 101, n. 4, p. 476-489, 2020.

GUEDES, R. N. C.; PICOLOTTO, L. Insecticide resistance and behavioral avoidance in *Tuta absoluta*: implications for integrated pest management. **Journal of Pest Science**, v. 94, p. 131–142, 2021.

HAREL, D. et al. The effect of mean daily temperature and relative humidity on pollen, fruit set and yield of tomato grown in commercial protected cultivation. **Agronomy**, v. 4, n. 1, p. 167-177, 2014.

HENZLER, I.; KHAZAEI, H. Leaf trichome diversity, acylsugar concentration, and their relationships to leaf area in *Solanum galapagense*. **bioRxiv**, p. 2022.07. 19.500675, 2022.

HEUVELINK, E. et al. Tomato in the spotlight: Light regulation of whole-plant physiology in tomato. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, 2025.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Dezembro de 2019**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2019/estProdAgri_201912.pdf. Acesso em: 30 set. 2025.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – Dezembro de 2024**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2024. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/releases/41594-em-setembro-ibge-preve-safra-de-295-1-milhoes-de-toneladas-para-2024>. Acesso em: 30 set. 2025.

IJJIMA, Y. et al. The biochemical and molecular basis for tomato fruit flavor. **The Plant Journal**, v. 54, n. 4, p. 740–754, 2008.

KOEDA, S. et al. Resistance to the insect vector *Bemisia tabaci* enhances the robustness and durability of tomato yellow leaf curl virus resistance conferred by *Ty-1*. **Plant Disease**, v. 109, n. 2, p. 399-409, 2025.

KUMAR, A. et al. Tomato (*Solanum Lycopersicon*). In: NAYIK, G.A.; GULL, A. (eds) **Antioxidants in Vegetables and Nuts – Properties and Health Benefits**, Springer, Singapore, 2020.

LANA, M. C. et al. Avanços no melhoramento genético do tomateiro no Brasil: 50 anos de pesquisa da Embrapa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 11, p. 1234-1245, 2018.

LATA, S. et al. Insights into the genetic improvement of tomato. In: **Genetic Engineering of Crop Plants for Food and Health Security: Volume 2**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 165-184.

LATERROT, H.; BLANCARD, D. **Le tomate: maladies et ravageurs**. Paris: INRA, 1983.

LECKIE, B. M. et al. Quantitative trait loci regulating the accumulation of acyl sugars in tomato. **Plant Physiology**, v. 158, n. 1, p. 351–362, 2012.

LEE, S. H. et al. Tomato fruit growth and nutrient accumulation in response to blue and red light treatments during the reproductive growth stage. **Horticulturae**, v. 9, n. 10, p. 1113, 2023.

LIN, T. et al. Genomic analyses provide insights into the history of tomato breeding. **Nature Genetics**, v. 46, p. 1220–1226, 2014.

LOURENÇÃO, A. L. et al. Melhoramento genético do tomateiro visando resistência a artrópodes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 85–90, 1997.

MACHADO, A. Q. et al. Produção de tomate italiano (saladete) sob diferentes densidades de plantio e sistemas de poda visando ao consumo in natura. **Horticultura Brasileira**, v. 25, p. 149-153, 2007.

MACIEL, G. M. et al. Resistência à traça-do-tomateiro em plantas com altos teores de acilaçúcares nas folhas. **Horticultura Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 123–130, 2021.

MALUF, W. R. Melhoramento genético do tomateiro. In: PATERNIANI, E.; VIÉGAS, G. P. (Org.). **Melhoramento de plantas no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira de Melhoramento de Plantas, 1994. p. 583–616.

MALUF, W. R. **Genética e melhoramento do tomateiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 130p.

MEDYOUNI, I. et al. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 4, p. 1949-1960, 2021.

MELO, P. C. T. et al. Melhoramento de hortaliças no Brasil. In: NICK, C.; BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de Hortaliças**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2016. v. 1, p. 9–60.

MITHÖFER, A.; BOLAND, W. Plant defense against herbivores: Chemical aspects. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 431–450, 2012.

MONTEIRO, C. S.r et al. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 19, n. 1, p. 25-31, 2008.

MORALES-PALACIO, M. N. et al. Caracterización de cuatro especies silvestres de tomate (*Solanum* spp.) en el suroeste de Nariño, Colombia. **Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 2, p. 111-125, 2016.

MORDOR INTELLIGENCE. **Tomato Market – Growth, Trends, COVID-19 Impact, and Forecasts (2024 – 2029)**. Mordor Intelligence, 2025. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/tomato-market>. Acesso em: 10 out. 2025.

MORIONES, E.; NAVAS-CASTILLO, J. Tomato yellow leaf curl disease epidemics: the role of the virus and the vector. **Virus Research**, Amsterdam, v. 152, p. 134–141, 2010.

NAGAMINE, A.; TAKAYAMA, M.; EZURA, H. Genetic improvement of tomato using gene editing technologies. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 98, n. 1, p. 1-9, 2023.

NANGARE, D. D. et al. Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. **Agricultural Water Management**, v. 171, p. 73-79, 2016.

NAVAS-CASTILLO, J. et al. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. **Annual Review of Phytopathology**, v. 49, p. 219–248, 2011.

NEMESKÉRI, E. et al. Physiological factors and their relationship with the productivity of processing tomato under different water supplies. **Water**, v. 11, n. 3, p. 586, 2019.

- OLIVEIRA, J. R. F. D. et al. Tomato breeding for sustainable crop systems: high levels of zingiberene providing resistance to multiple arthropods. **Horticulturae**, v. 6, n. 2, p. 34, 2020.
- OLIVEIRA, M. F. et al. Fumagina em tomateiro associada à infestação por mosca-branca (*Bemisia tabaci*). **Revista Brasileira de Fitopatologia**, Brasília, v. 48, n. 2, p. 123–130, 2023.
- PADMANABHAN, P.; CHEEMA, A.; PALIYATH, G. Encyclopedia of food and health. In: **Encyclopedia of food and health**. Academic Press Oxford, 2016. p. 364-371.
- PAPONOV, I. A. et al. Additive effects of light and branching on fruit size and chemical fruit quality of greenhouse tomatoes. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 14, 2023.
- PASCUAL, S. et al. Over time changes in the transcriptomic profiles of tomato plants with or without Mi-1 gene during their interactions with *Bemisia tabaci*. **Plants**, v. 14, n. 7, p. 1054, 2023.
- PEDROSO, M. T. M. et al. Principais regiões produtoras e de comercialização: o fluxo de abastecimento do tomate no período de 2016 a 2020. **Terceira Margem Amazônia**, v. 10, n. 22, p. 147-158, 2024.
- PEIXOTO, J. V. et al. Productivity, acylsugar concentrations and resistance to the two-spotted spider mite in genotypes of salad tomatoes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 9, p. 596-602, 2020.
- PERALTA, I.; KNAPP, S.; SPOONER, D. M. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. **Systematic Botany**, v. 30, p. 424–434, 200520.
- PEREIRA-CARVALHO, R. C. et al. Marcadores moleculares aplicados ao melhoramento genético do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 3, p. 394–402, 2012.
- PÉRILLEUX, Claire et al. Inflorescence development in tomato: gene functions within a zigzag model. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 121, 2014.
- PRASLIČKA, J.; HUSZÁR, J. Influence of temperature and host plants on the development and fecundity of the spider mite *Tetranychus urticae* (Acarina: Tetranychidae). **Plant Protection Science**, v. 40, n. 4, p. 141–144, 2004.
- PURBA, B. M. et al. Qualitative and Quantitative Characteristics of Some Tomato Varieties (*Solanum lycopersicum* L.). **Tugas_Akhir (Artikel) JUATIKA: JURNAL AGRONOMI TANAMAN TROPIKA**, v. 6, n. 2, p. 579-587, 2024.
- QUEIROZ DE ALMEIDA, G. et al. Tomato breeding for disease resistance. **Multi-Science Journal**, v. 3, n. 3, p. 8–16, 2020.
- QUEIROZ, R. B. et al. Influence of tomato plants nutritional status on the fitness and damage of *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Agricultural and Forest Entomology**, v. 24, n. 2, p. 123–132, 2022.
- RAZIFARD, H. et al. Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. **Mol. Biol. Evol.**, v. 37, p. 1118–1132, 2020.

RESENDE, J. T. V. et al. Acylsugar content and insect resistance in tomato genotypes for processing. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, p. 1–8, 2021.

RESENDE, J. T. V. et al. Inheritance of acylsugar contents in tomatoes derived from an interspecific cross with the wild tomato *Lycopersicon pennellii* and their effect on spider mite repellence. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 1, p. 106-116, 2002.

REZK, A.; ABHARY, M.; AKHKHA, A. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) breeding strategies for biotic and abiotic stresses. In: **Advances in Plant Breeding Strategies: Vegetable Crops: Volume 9: Fruits and Young Shoots**. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 363-405.

RICK, C. M. Tomato. In: SMARTT, J.; SIMMONDS, N. W. (Ed.). **Evolution of crop plants**. London: Longman Scientific & Technical, 1991. p. 268–273.

RODA, A. et al. Biological control potential and drawbacks of three zoophytophagous mirid predators against *Bemisia tabaci* in the United States. **Insects**, Basel, v. 11, n. 10, p. 670, 2020.

RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, C. I. et al. Basal differences in the transcriptional profiles of tomato leaves associated with the presence/absence of Mi-1 and changes after infestation by *Bemisia tabaci*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 110, n. 4, p. 471–482, 2020.

RONGA, D. et al. Physiological responses to chilling in cultivars of processing tomato released and cultivated over the past decades in Southern Europe. **Scientia Horticulturae**, v. 231, p. 118-125, 2018.

SAMURA, A. E. et al. Pests, diseases, growth and yield of tomato as influenced by variety and cultivation technology. **Journal of Plant Sciences**, [S. l.], v. 12, n. 5, 2024.

SANTAMARÍA, M. E. et al. Tomato responses to *Tetranychus urticae* infestation: a metabolomic approach. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 11, p. 1684, 2020.

SHI, Q. et al. Photorespiration alleviates photoinhibition of photosystem I under fluctuating light in tomato. **Plants**, v. 11, n. 2, p. 195, 2022.

SINGH, R. et al. Management approaches for tomato (*Solanum lycopersicum* L.) insect pests. **International Journal of Entomology Research**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. 45–52, 2023.

SPOONER, D. M.; PERALTA, I. E.; KNAPP, S. Comparison of AFLPs with other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes *Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill.). **Táxon**, v. 54, p. 43-61, 2005.

TABARY, L. et al. Plant, pest and predator interplay: tomato trichomes effects on *Tetranychus urticae* and the predatory mite *Typhlodromus recki*. **Experimental and Applied Acarology**, Dordrecht, v. 93, p. 169–195, 2024.

TAIZ, Lincoln et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TORTORICI, Simona et al. Plant defences for enhanced integrated pest management in tomato. **Annals of Applied Biology**, v. 180, n. 3, p. 328-337, 2022.

VAN ANDEL, T. et al. Sixteenth-century tomatoes in Europe: who saw them, what they looked like, and where they came from. **PeerJ**, v. 10, p. e12790, 2022.

VIJAYAKUMAR, A.; BEENA, R. Impact of temperature difference on the physicochemical properties and yield of tomato: a review. **Chem. Sci. Rev. Lett**, v. 9, n. 35, p. 665-681, 2020.

VIVEKANANDHAN, P. et al. Biology, classification, and entomopathogen-based management and their mode of action on *Tuta absoluta* (Meyrick) in Asia. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, p. 1429690, 2024.

WAKIL, W.; BRUST, G. E.; PERRING, T. M. **Sustainable management of arthropod pests of tomato**. London: Academic Press, 2017.

WAKIL, W. et al. Acaricidal efficacy of abamectin against *Tetranychus urticae* populations when combined with entomopathogenic fungi. **Horticulturae**, Basel, v. 10, n. 10, p. 1019, 2024.

WAKIL, W. et al. The inevitable fate of *Tetranychus urticae* on tomato plants treated with entomopathogenic fungi and spinosad. **Journal of Fungi**, Basel, v. 11, n. 2, p. 138, 2025.

WANG, M. et al. Integration of metabolomics and transcriptomics reveals the regulation mechanism of the phenylpropanoid biosynthesis pathway in insect resistance traits in *Solanum habrochaites*. **Horticulture research**, v. 11, n. 2, p. uhad277, 2024.

WAR, A. R. et al. Mechanisms of plant defense against insect herbivores. **Plant Signaling & Behavior**, v. 7, n. 10, p. 1306–1320, 2012a.

WAR, A. R. et al. Role of plant volatile organic compounds in insect pest management: A review. **Journal of Biopesticides**, v. 5, p. 1–10, 2012b.

WU, S. et al. Photoperiodic Effect on Growth, Photosynthesis, Mineral Elements, and Metabolome of Tomato Seedlings in a Plant Factory. **Plants**, Basel, v. 13, n. 22, 2024.

XU, C. et al. Tomato transcriptomic response to *Tuta absoluta* infestation. **BMC Plant Biology**, v. 21, n. 358, 2021.

YADAV, S. P. S. et al. A review on ecology, biology, and management of a detrimental pest, *Tuta absoluta* (Lepidoptera: Gelechiidae). **Journal of agriculture and applied biology**, v. 3, n. 2, p. 77-96, 2022.

YAN, Y. et al. Light quality regulates plant biomass and fruit quality through a photoreceptor-dependent HY5-LHC/CYCB module in tomato. **Horticulture Research**, Oxford, v. 10, n. 12, p. uhda219, 2023.

YAN, Z. et al. Resistance to Tomato yellow leaf curl virus in tomato germplasm. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1198, 2018.

ZHANG, T. Q. et al. Root distribution of drip-irrigated tomato plants. **Acta Horticulturae**, v. 664, p. 247–254, 2004.

ZHANG, Y. et al. The Roles of Different Types of Trichomes in Tomato Resistance to Cold, Drought, Whiteflies, and Botrytis. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 3, p. 411, 2020.

ZHAO, G. et al. Root system architecture and development of tomato under different water and nitrogen supply. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 439–447, 2018.

ZHOU, R. et al. Physiological response of tomatoes at drought, heat and their combination followed by recovery. **Physiologia Plantarum**, v. 165, n. 2, p. 144-154, 2019.

4. ARTIGO A: Parâmetros produtivos, qualidade de frutos e resistência a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) em linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano.

4.1 RESUMO

O tomateiro italiano é fortemente afetado pela mosca-branca (*Bemisia tabaci*), que reduz produtividade, qualidade de frutos e aumenta a dependência de defensivos químicos. Ainda há escassez de materiais do tipo italiano com arquitetura compatível ao cultivo industrial que combinem alto rendimento, qualidade tecnológica e bons níveis de resistência. Sendo assim, o objetivo foi avaliar linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com elevados teores de acilacúcares, avaliando simultaneamente produtividade, qualidade de frutos e resistência à *B. tabaci*. Foram avaliados 42 genótipos (13 linhagens, 27 híbridos F₁, a testemunha comercial Paipai e o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716) em blocos casualizados, em casa de vegetação, mensurando produção total e comercial, número e tamanho de frutos, firmeza, sólidos solúveis, teores de acilacúcares e densidade de ovos/ninfas em na fase vegetativa e reprodutiva. Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo as médias agrupadas pelo teste de Scott-Knott, análise de componentes principais (PCA) e foram estimados contrastes baseados nas combinações de *Mi*, *Ty-1*, acilacúcares e zingibereno. Os resultados indicam grupos de híbridos com produtividade comercial semelhante ou superior ao Paipai, mantendo padrão morfológico italiano e °Brix em torno ou acima de 4.0. As análises de PCA e de contrastes foram concordantes ao apontar os genótipos com acilacúcares em homozigose como principais responsáveis pela redução de ovos e ninfas de *B. tabaci*, enquanto *Mi* e *Ty-1* contribuem de forma secundária. Híbridos derivados de BPX-466F-174-01-05-108-05, TOM-760, TOM-777, TOM-780, TOM-811 e TOM-812 configuram materiais promissores para etapas posteriores de avaliação.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, artrópodes-praga, melhoramento genético, estresse biótico, produtividade.

4.2 ABSTRACT

Italian-type tomato is strongly affected by the whitefly (*Bemisia tabaci*), which reduces yield and fruit quality and increases dependence on chemical pesticides. There is still a scarcity of Italian-type genotypes, with architecture suitable for industrial cultivation, that combine high yield, technological quality and satisfactory levels of resistance. Therefore, the objective was to select Italian tomato lines and experimental hybrids with high acylsugar contents, simultaneously evaluating yield, fruit quality and resistance to *B. tabaci*. Forty-two genotypes (13 lines, 27 F₁ hybrids, the commercial check Paipai and the wild accession *S. pennellii* LA-716) were evaluated in a randomized block design in greenhouse, measuring total and marketable yield, fruit number and size, firmness, soluble solids, acylsugar content and egg/nymph density in vegetative and reproductive stages. Data were subjected to analysis of variance, means were grouped by the Scott–Knott test, principal component analysis (PCA) was performed, and contrasts were estimated based on combinations of *Mi*, *Ty-1*, acylsugars and zingiberene. The results indicated groups of hybrids with marketable yield similar or superior to Paipai, maintaining the Italian fruit morphology pattern and °Brix around or above 4.0. PCA and contrasts consistently pointed to genotypes with acylsugars in homozygosis as mainly responsible for reducing eggs and nymphs of *B. tabaci*, whereas *Mi* and *Ty-1* contributed secondarily. Hybrids derived from BPX-466F-174-01-05-108-05, TOM-760, TOM-777, TOM-780, TOM-811 and TOM-812 are promising materials for subsequent evaluation stages.

Key-words: *Bemisia tabaci*, *Solanum lycopersicum*, arthropod pests, biotic stress, yield.

4.3 INTRODUÇÃO

Apesar de décadas de pesquisa e da ampla adoção de estratégias de controle químico, a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) continua sendo uma das pragas mais difíceis de manejar na cultura do tomateiro, devido ao seu rápido ciclo reprodutivo, à sua polifagia e à notável capacidade de desenvolver resistência a múltiplas classes de inseticidas (HOROWITZ et al., 2020; KAVALLIERATOS et al., 2024). A intensificação dos surtos de mosca-branca em sistemas de cultivo a campo e em ambiente protegido não apenas agravou os danos diretos causados pela alimentação, como também facilitou a disseminação global de viroses devastadoras, como o *Tomato chlorosis virus* (ToCV) e o *Tomato yellow leaf curl virus* (TYLCV), transmitidos de forma semipersistente (SHI et al., 2018, FIALLO-OLIVÉ; NAVAS-CASTILLO, 2023; LU et al., 2023). Esse cenário evidencia a necessidade crítica de mecanismos de resistência duráveis e ambientalmente sustentáveis, que possam ser integrados aos programas de melhoramento genético e reduzir a dependência de inseticidas sintéticos.

Entre as abordagens mais promissoras para resistência da planta hospedeira está a exploração de defesas químicas e genéticas constitutivas. Além da resistência mediada por genes específicos, como o *Mi-1*, que reduz a preferência de oviposição e a sobrevivência de ninfas de *B. tabaci* em cultivares comerciais (RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ et al., 2017; PASCUAL et al., 2023) e do gene *Ty-1*, amplamente utilizado para atenuar os sintomas e a acumulação de TYLCV em híbridos comerciais (KAUSHAL et al., 2020; MARCHANT et al., 2020; KOEDA et al., 2024), destacam-se os mecanismos baseados em tricomas glandulares produtores de acilaçúcares e sesquiterpenos como o zingibereno.

Genótipos com altos teores foliares de acilaçúcares ou zingibereno apresentam forte antixenose e antibiose à mosca-branca, com reduções expressivas no número de ovos e ninfas, e, quando ambos estão combinados, podem superar o nível de resistência conferido isoladamente pelo *Mi* (NEIVA et al., 2019; DIAS et al., 2021; DINIZ et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2023). Estudos recentes indicam ainda que a piramidação de aleloquímicos (acilaçúcares e zingibereno) com *Mi* e genes *Ty-1/Ty-2/Ty-3* aumenta a robustez e a durabilidade da resistência, reduzindo simultaneamente a infestação de *B. tabaci* e a progressão de viroses transmitidas pelo vetor (MARCHANT et al., 2020; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023; OLIVEIRA et al., 2023; KOEDA et al., 2024).

O melhoramento genético do tomateiro visando resistência a artrópodes-praga tem se beneficiado da introgressão de alelos provenientes de espécies silvestres, como *S. pennellii*LA-716, reconhecida por sua elevada produção de acilaçúcares em tricomas

glandulares tipo IV (MALUF et al., 2010; RESENDE et al., 2021). Estudos de mapeamento genético e seleção assistida por marcadores têm identificado loci associados à biossíntese de acilaçúcares, como os genes ASAT1–ASAT4, que codificam aciltransferases específicas envolvidas na formação de ésteres de sacarose e glicose (SMEDA et al., 2018; VARGAS-ORTIZ et al., 2018; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023), bem como QTLs para resistência a TYLCV mediada por Ty-1/Ty-3 e outros genes relacionados (MARCHANT et al., 2020; KOEDA et al., 2024; KAUSHAL et al., 2020; FORTES et al., 2020).

No entanto, a maioria dos estudos com acilaçúcares concentra-se em genótipos de crescimento indeterminado ou em linhagens experimentais com arquitetura vegetativa incompatível com os sistemas de cultivo mecanizado utilizados na produção de tomate tipo italiano para processamento (REZENDE et al., 2020; CAVASIN et al., 2021; KUBOND; ST. CLAIR, 2023;). Essa lacuna limita a aplicabilidade prática dos avanços obtidos em ambientes comerciais, onde predominam cultivares de crescimento determinado, adaptadas ao cultivo rasteiro e à colheita mecanizada. Além disso, a expressão da resistência mediada por acilaçúcares, zingibereno e mesmo pelos genes *Mi* e *Ty*, pode variar significativamente em função das condições edafoclimáticas e da condição gênica (hetero ou homozigose), exigindo validações em campo e análises comparativas entre combinações gênicas para garantir a estabilidade e a eficácia da resistência em diferentes ambientes (REZENDE et al., 2020; DIAS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2023).

Diante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho agrônômico, a qualidade de frutos e os níveis de resistência à mosca-branca em linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano com altos teores de acilaçúcares, bem como diferentes combinações de resistência mediadas pelo gene *Mi*, pelo gene *Ty-1* e pelos aleloquímicos acilaçúcares e zingibereno,

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Local dos Experimentos

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação na Fazenda Escola (FAZESC) e as avaliações foram realizadas no Laboratório de Horticultura (LabHor), ambas instalações pertencem à Universidade Estadual de Londrina – UEL (latitude 23°20'24"S, longitude 51°12'36"O e altitude de 544 m). De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), com temperatura e precipitação média anual de 22°C e 1.800 mm, respectivamente. Durante o verão, as temperaturas ultrapassam 30°C e a pluviosidade varia entre 500 e 600 mm (NITSCHKE et al., 2019). O solo da região é classificado como Latossolo Roxo Eutrófico de textura argilosa (LARACH et al., 1984). Os experimentos foram realizados nos anos de 2022 e 2023, sendo primeiro ano para instalação e desenvolvimento dos genótipos e o segundo ano para as coletas e avaliações.

4.4.2 Obtenção e Caracterização do Material Vegetal

Foram avaliados 42 genótipos, sendo 27 híbridos F₁ obtidos a partir de cruzamentos entre 13 linhagens avançadas (derivadas de cruzamentos entre *Solanum lycopersicum* e *Solanum pennellii* LA-716), o híbrido Paipai como controle comercial (Enza Zaden) e o acesso silvestre *Solanum pennellii* LA-716 como padrão de resistência (Tabela 1).

As linhagens são provenientes do programa de melhoramento genético de tomateiro da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, que desenvolve projetos de pesquisa em parceria com a Universidade Estadual de Londrina.

Tabela 1 – Características morfológicas e genéticas das linhagens e controles utilizados nos experimentos.

Genótipo	Descrição			
	Hábito de crescimento	Formato de fruto	Resistência	Background genético
TOM-684	Indeterminado	Bônus	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-700	Indeterminado	Saladette	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-723	Indeterminado	Andrea	-	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-724	Indeterminado	Saladette	Mi	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-760	Indeterminado	Italiano	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-768	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
TOM-777	Indeterminado	Italiano	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-780	Indeterminado	Italiano	-	-
TOM-795	Indeterminado	Italiano	Mi	-
TOM-804	Indeterminado	Bônus	Mi	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-811	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
TOM-812	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
BPX-466E-174-01-05-108-05	Indeterminado	Saladette	-	-
Cultivar Paipai	Indeterminado	Saladette	Mi e Sw-5	-

V= *Verticillium*; F (1) = *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* raça 1 (gene *I*); F (3) = *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* raça 3 (gene *I3*); Mi = *Meloidogyne incognita* & *M.javanica* (gene *Mi*); Sm = *Stemphylium solani* (gene *Sm*); Pto = *Pseudomonas syringae* pv. tomato (gene *Pto*); Sw-5 = *tomspovirus* (vira-cabeça) (gene *Sw-5*); *nor^a* = *Alcobaça*; *og^c* = *old gold crimson*. Fonte: Autor (2026).

4.4.3 Cruzamentos e Obtenção dos Híbridos F₁

As 13 linhagens foram semeadas em bandejas de polipropileno, contendo 50 células, preenchidas com substrato comercial Carolina Soil® composto por turfa, perlita, vermiculita e casca de arroz torrefada, e mantidas em estufa com temperatura média de 25°C e umidade relativa de 60±10%, e irrigadas por microaspersão. Foram semeadas duas sementes por célula (Figura 1A) e a repicagem realizada uma semana após a emergência, mantendo a mais vigorosa (Figura 1B). Ao todo, foram mantidas 10 plântulas de cada genótipo doador de pólen e 36 plântulas de cada um dos genótipos receptores de pólen.



Figura 1 – Bandejas recém semeadas (A), plântulas (B), canteiros e instalação da irrigação (C) e plantas 30 dias após transplântio (D). Fonte: Autor (2022).

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob o sistema de cultivo em solo, utilizando três canteiros (1,20 metros de largura e 50 metros de comprimento) cobertos com *mulching* de 25 micras de espessura. O solo foi previamente lavrado com enxada rotativa, e os canteiros finalizados manualmente, (Figura 1C). Para o tutoramento vertical das plantas foram instalados palanques com estirantes e arames. A irrigação foi localizada, utilizando tubos gotejadores com orifícios espaçados a cada 20 cm.

A adubação de base foi realizada conforme as necessidades indicadas pela análise de solo, sendo aplicados 800 kg ha^{-1} de Superfosfato Simples, 700 kg ha^{-1} de fertilizante fosfatado (18% de P_2O_5) e 500 kg ha^{-1} do formulado 04-30-04, 30 dias antes do transplante das mudas. O manejo suplementar ocorreu por fertirrigação e via foliar, com fornecimento intercalado de macro e micronutrientes a cada 10 dias (Tabela 2). Cerca de 20 dias após a semeadura, quando apresentavam entre três e cinco folhas definitivas, as mudas foram transplantadas para os canteiros em espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas.

Tabela 2 – Manejo de fertilidade realizado durante os experimentos.

Modo de aplicação	Fonte	Dose recomendada *
Fertirrigação	Formulado: 20-20-20	300 g 100 ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar: 20,0% de N + 5,0% de P ₂ O ₅ + 10,0% de K ₂ O + 1,0% de Mg + 5,0% de S + 1,0% de B + 0,05% de Cu + 0,1% de Mn + 0,05% de Mo + 7,0% de Zn.	3,0 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar a base de Potássio: 51,0% de K ₂ O + 17,3% de S.	1,5 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar: 1,0% de N + 4,40% de S + 0,15% de Co + 0,15% de Mo + 1,0% de Ni + 8,0% de Zn.	3,0 kg ha ⁻¹
Fertirrigação	Formulado: 30-10-10 + micronutrientes.	2,0 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar a base de Cálcio e Boro: 8,0% de Ca e 2,0% de B.	2,0 L ha ⁻¹
Fertirrigação	Granulado: 15,5% de N + 19,0% de Ca	1,5 L ha ⁻¹

Legenda: * Diluição em 100 L⁻¹ de água. Fonte: Autor (2026).

O manejo de doenças fitopatogênicas foi realizado com pulverizador costal elétrico (Jacto®, modelo DJB-20), com capacidade de 20 L de calda e pressão do tanque de 60 psi (4.1 bar). A barra de pulverização com 1,5 m de comprimento, possuía quatro bicos do tipo cone, ponta fina, com vazão entre 150 e 300 L, variando conforme o ciclo da cultura. Foram aplicados produtos específicos de ação preventiva e curativa, rotacionados ao longo das pulverizações (Tabela 3).

Tabela 3 – Manejo fitopatogênico realizado durante os experimentos.

Grupo químico	Dose recomendada (p. c.)
clorotalonil (isoflazonitrila)	300 mL 100 L ⁻¹
clorotalonil (isoflazonitrila) + difenoconazol (triazol)	50 mL 100 L ⁻¹
Azoxistrobina (estrobilurina) + difenoconazol (triazol)	40 mL 100 L ⁻¹
Bentiavalicarbe isopropílico + Fluazinam	70 mL 100 L ⁻¹
mancozebe (alquilenobis(ditiocarbamato))	3,0 kg ha ⁻¹
famoxadona (oxazolidinadiona) + mancozebe (alquilenobis(ditiocarbamato))	160 g 100 L ⁻¹
fluxapirroxade (carboxamida) + piraclostrobina (estrobilurina)	35 mL 100 L ⁻¹
mandipropamid (éter mandelamida) + mandipropamid (éter mandelamida)	60 mL 100 L ⁻¹
bentiavalicarbe isopropílico (Valinamida carbamato) + clorotalonil (isoflazonitrila)	125 mL 100 L ⁻¹

Fonte: Autor (2026).

As plantas foram conduzidas com duas hastes e semanalmente se realizava a remoção dos brotos axilares e o tutoramento por meio de fitilhos plásticos, sendo que os amarrios iniciaram quando as plantas começaram a pender, concomitantemente com as desbrotas. A irrigação foi realizada duas vezes ao dia, durante 5 minutos. O manejo das plantas daninhas entre os canteiros foi realizado de forma manual com o uso de enxada.

Os cruzamentos iniciaram aproximadamente dois meses após o transplântio, com o surgimento dos primeiros botões florais. Nos genótipos receptores de pólen, foi realizada a emasculação manual do cone de anteras em flores ainda fechadas para evitar a autopolinização. Nos genótipos doadores as flores recém-abertas eram destacadas das plantas e com o auxílio de um vibrador manual o pólen era coletado e depositado em um recipiente feito de cartolina de coloração escura. A polinização era realizada no mesmo dia, sempre no período da manhã, logo após a emasculação. Após a coleta e emasculação das flores, foi realizada a polinização, a qual ocorria no mesmo dia, sempre no período da manhã. Cada flor receptora foi identificada com um pedaço de lã colorida em seu pedúnculo, indicando o genótipo doador correspondente (Figura 2A e B).

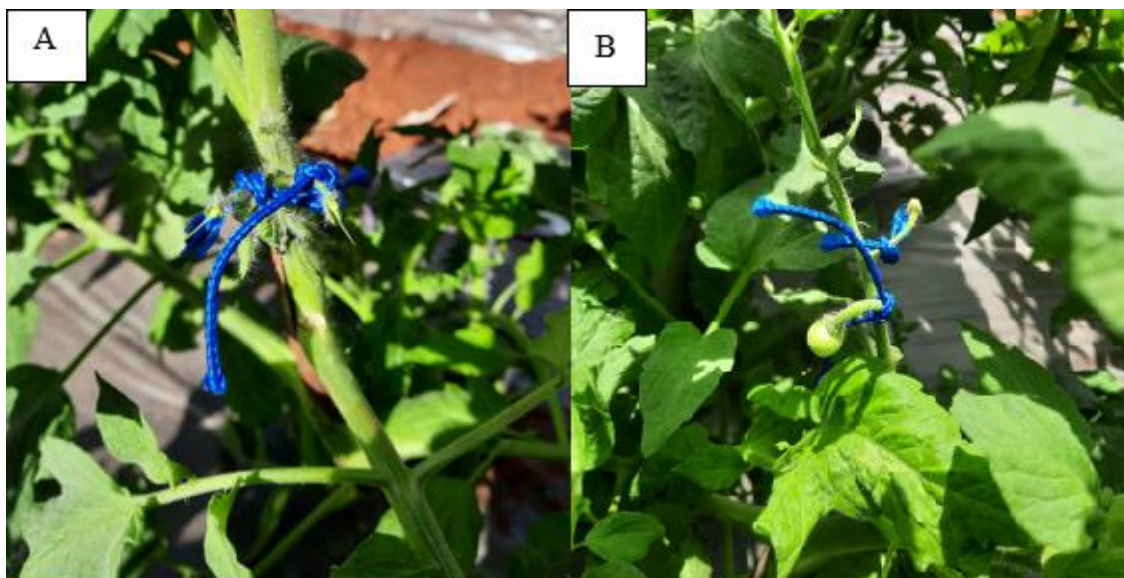


Figura 2 – Planta receptora de pólen após emasculação (A), fruto de cruzamento em desenvolvimento (B). Fonte: Autor (2022).

Semanalmente e após a maturação completa, os frutos foram colhidos, acondicionados em sacos plásticos e armazenados em temperatura ambiente no Laboratório de Horticultura da Universidade Estadual de Londrina. Posteriormente, as sementes híbridas F_1 de cada cruzamento foram coletadas, secas naturalmente e armazenadas em câmara fria (Figura 3). Sem tratamento pré-plantio, foram semeadas em bandejas de poliestireno de 72 células, preenchidas com substrato, seguindo o mesmo manejo empregado na produção das mudas das linhagens.

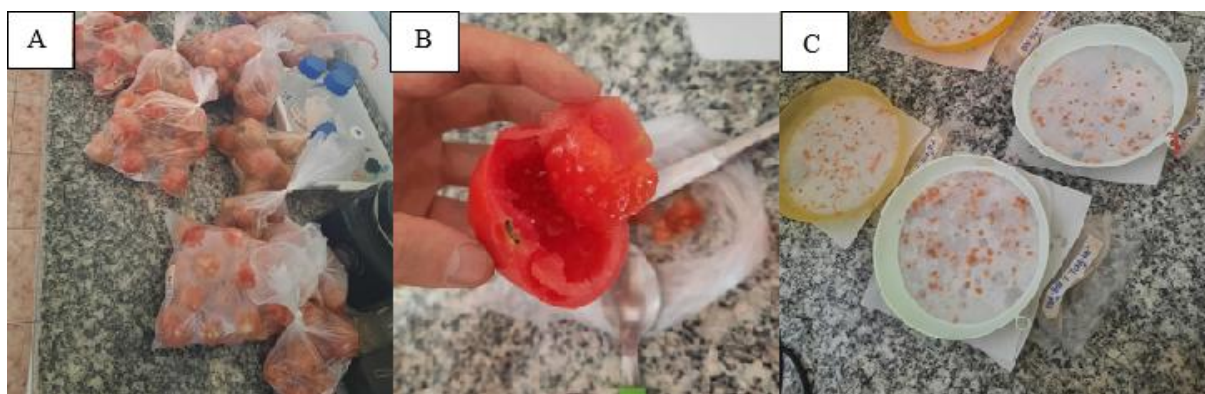


Figura 3 – Frutos coletados e identificados (A), extração de sementes (B) lavagem e secagem de sementes (C). Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, as mudas dos híbridos F_1 foram transplantadas para os canteiros, onde adotando-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com três parcelas compostas por oito plantas cada. O manejo seguiu os mesmos procedimentos utilizados na condução dos cruzamentos (Figura 4).



Figura 4 – Plantas em estágio produtivo. 30 dias após transplante (A), 60 dias após transplante (B) e 90 dias após transplante (C). Fonte: Autor (2023).

Após as avaliações de resistência à mosca branca, foi realizada a poda das folhas senescentes, visando a redução do ataque da praga e doenças. Quando as plantas atingiram 2,10 m de altura, foi realizada a capação, com a eliminação do broto terminal das hastes.

4.4.4 Caracterização agronômica

Foram realizadas 13 colheitas ao longo do experimento. A produção total (PT, toneladas ha^{-1}), corresponde ao somatório do peso de todos os frutos colhidos durante o período produtivo de cada planta. As colheitas foram escalonadas semanalmente a partir do início da maturação, e acumuladas ao longo do cultivo.

Foi obtido o número de frutos comerciais (NFC, frutos/planta) e realizada a estimativa da produção comercial (PC, toneladas ha^{-1}), para isso foram considerados frutos com peso mínimo de 80 gramas, diâmetro transversal maior que 30 mm (valor adaptado) e ausência de defeitos causados por doenças ou pragas, podridões ou rachaduras (BRASIL, 1995). A massa média dos frutos comerciais (MMFC, g/fruto) foi obtida pela relação entre PC e NFC.

O tamanho relativo do fruto foi estimado por meio do diâmetro transversal do fruto (DT, mm) e o diâmetro longitudinal do fruto (DL, mm), com auxílio de paquímetro digital. Para isso foram utilizados frutos maduros das 10 primeiras colheitas de cada genótipo.

Os dados referentes a *Solanum pennellii* LA-716 não foram contabilizados nas análises comparativas de produtividade e qualidade de frutos. Essa espécie foi utilizada exclusivamente como fonte de aleloquímicos e caracteres de resistência, não sendo considerada representativa para parâmetros agronômicos comerciais devido à sua natureza não cultivada.

4.4.5 Caracterização física e bioquímica

A firmeza dos frutos foi determinada por meio de penetrômetro digital de bancada (Force Gauge, modelo DD-200) com ponta de punção de 8 mm de diâmetro, com pressão na região equatorial do fruto, sendo os resultados expressos em Newton (N). Foram realizadas 10 repetições com frutos completamente maduros e com casca.

Os sólidos solúveis (SS) foram mensurados em °Brix por refratômetro digital portátil (Atago®), calibrado com água destilada e ajustado para 25°C. Para isso foram utilizados frutos totalmente maduros das 10 primeiras colheitas de cada genótipo, cujo suco, obtido por trituração em liquidificador, foi aplicado no prisma do equipamento para a leitura.

Os teores de acilaçúcares foram determinados conforme a metodologia proposta por Resende et al. (2002). Aos 45 dias após o transplântio, foram coletados seis discos foliares de folíolos jovens expandidos, localizados no terço superior da planta, utilizando vazador de 3/8" de diâmetro, totalizando 4,21 cm² de área foliar. Os discos foram acondicionados em tubo de ensaio. A extração foi realizada com adição de 1 mL de diclorometano, seguida de agitação em vórtex por 30 segundos e remoção dos discos foliares. Após a evaporação do reagente, foi adicionado 0,5 mL de hidróxido de sódio (NaOH) dissolvido em metanol. A solução obtida foi colocada em banho-maria a 100 °C para evaporação do solvente. Em seguida, foi adicionado 1,0 mL de metanol e colocado novamente em banho-maria para evaporação.

O resíduo foi dissolvido em 0,5 mL de água, e adicionado 0,1 mL de ácido clorídrico (HCl) 0,04 N, seguido de aquecimento em banho maria por cinco minutos. Em seguida foi adicionado 0,5 mL do reagente Somogy-Nelson (reagente A + reagente B; 25:1), aquecido por 10 minutos e resfriado em água corrente. Ao fim foi adicionado 0,5 mL de arsenomolibdato para a reação colorimétrica do açúcar redutor, e agitadas por 15 segundos em vórtex.

A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (UV-VIS Cary 100), no comprimento de onda de 540 nm (NELSON, 1944). Os valores obtidos correspondem à absorbância relativa de acilaçúcares (ABS), diretamente proporcional à concentração desses compostos. O procedimento foi realizado em triplicata para todas as plantas.

4.4.6 Características de Resistência

4.4.6.1 Teste de livre escolha

A avaliação dos genótipos foi realizada utilizando o teste de livre escolha, sob infestação natural de mosca-branca (*Bemisia tabaci*), biótipo B. Foram realizadas duas avaliações, sendo a primeira durante o estágio vegetativo (aproximadamente 55 dias após semeadura) e a segunda durante o estágio reprodutivo (mais de 100 dias após semeadura). Para essa análise, os folíolos foram coletados e levados ao laboratório. A contagem de ovos e ninfas foi realizada com auxílio do estereoscópio (Olympus micronal VMT, 20x) em 1cm² de área foliar na superfície abaxial de seis folíolos do terço superior de cada planta. Os dados obtidos permitiram a determinação da densidade de ovos (número de ovos/cm²) e densidade ninfal (número de ninfas/cm²) de cada genótipo analisado.

4.4.7 Análise dos dados

A distribuição dos dados foi avaliada quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Quando necessário, os dados foram transformados para atender as premissas da análise de variância (ANOVA) e quando significativos, aplicado o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, adotando-se o nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) utilizando o pacote Agricolae v.1.3-7 (MENDIBURU, 2023) no software R v. 4.5.2 (R CORE TEAM, 2025, <http://www.r-project.org/>). Posteriormente, foi realizado o agrupamento dos genótipos por meio da análise de componentes principais (PCA) por meio do *plugin* FactoMineR (LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F, 2008) no *software* R.

Utilizando o pacote Emmeans v.2.0.1 (LENTH, 2025) foram aplicados contrastes de interesse com base nas características genéticas dos genótipos apresentadas no Quadro 1 (APÊNDICE A). Os contrastes de interesse estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Contrastes de interesse entre genótipos de tomateiro com diferentes combinações de genes de resistência (*Mi*, *Ty-1*, acilaçúcares e zingibereno).

Contraste	Comparação	Explicação biológica
C01	T41 - (T01+T02+T03)/3	Paipai vs. Suscetíveis
C02	T42 - (T01+T02+T03)/3	<i>S. pennellii</i> vs suscetíveis
C03	T42 - T41	<i>S. pennellii</i> vs PaiPai
C04	(T04+T05)/2 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> heterozigoto vs suscetíveis
C05	(T06+T07+T08)/3 - (T01+T02+T03)/3	Acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C06	T09 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> heterozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto vs suscetíveis
C07	(T10+...+T13)/4 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> homozigoto vs suscetíveis
C08	(T14+T15+...+T20)/7 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> heterozigoto / Acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C09	T21 - (T01+T02+T03)/4	<i>Mi</i> homozigoto / Acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C10	(T22+T23)/2 - (T01+T02+T03)/4	<i>Mi</i> homozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto vs suscetíveis
C11	(T24+T25+...+T28)/5 - (T01+T02+T03)/3	Acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C12	(T29+T30+T31)/3 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> heterozigoto / Acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C13	(T32+T33)/2 - (T01+T02+T03)/3	Acilaçúcar homozigoto / Zingibereno heterozigoto vs suscetíveis
C14	(T34+T35+T36)/3 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> heterozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto / Acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C15	(T37+T38)/2 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> homozigoto / Acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C16	T39 - (T01+T02+T03)/3	Acilaçúcar homozigoto / Zingibereno homozigoto vs suscetíveis
C17	T40 - (T01+T02+T03)/3	<i>Mi</i> homozigoto / <i>Ty-1</i> homozigoto vs suscetíveis
C18	(T10+...+T13)/4 - (T04+T05)/2	<i>Mi</i> homozigoto vs <i>Mi</i> heterozigoto
C19	T40 - T09	<i>Mi</i> e <i>Ty-1</i> homozigoto vs <i>Mi</i> e <i>Ty-1</i> heterozigoto
C20	(T22+T23)/2 - T09	<i>Mi</i> homozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto vs <i>Mi</i> heterozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto
C21	(T37+T38)/2 - (T24+T25+...+T28)/5	<i>Mi</i> homozigoto / Acilaçúcar homozigoto vs Acilaçúcar homozigoto
C22	(T29+T30+T31)/3 - (T24+T25+...+T28)/5	<i>Mi</i> heterozigoto / Acilaçúcar homozigoto vs Acilaçúcar homozigoto
C23	(T34+T35+T36)/3 - (T24+T25+...+T28)/5	<i>Mi</i> heterozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto / Acilaçúcar heterozigoto vs Acilaçúcar homozigoto
C24	(T34+T35+T36)/3 - (T06+T07+T08)/3	<i>Mi</i> heterozigoto / <i>Ty-1</i> heterozigoto / Acilaçúcar heterozigoto vs Acilaçúcar heterozigoto
C25	T39 - (T24+T25+...+T28)/5	Acilaçúcar e Zingibereno homozigoto vs Acilaçúcar homozigoto
C26	T39 - (T32+T33)/2	Acilaçúcar e Zingibereno homozigoto vs Acilaçúcar homozigoto / Zingibereno heterozigoto

4.5 RESULTADOS

4.5.1 Caracterização Agronômica

Com exceção da massa média dos frutos comerciais (MMFC), os tratamentos apresentaram diferenças para as demais características avaliadas e os coeficientes de variação (CV) oscilaram de 11.86 a 36.95% (Tabela 5). A produção total de frutos (PT) variou de 21.50 t ha⁻¹ (TOM-795) a 181.52 t ha⁻¹ (BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812), evidenciado ampla variabilidade entre os genótipos. Os maiores valores foram observados nas combinações envolvendo o acesso BPX-466F-174-01-05-108-05, destacando-se BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812 (181.52 t ha⁻¹) e BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-684 (162.00 t ha⁻¹). Esses genótipos superaram inclusive o desempenho da cultivar Paipai (157.44 t ha⁻¹). Em contraste, os menores rendimentos foram registrados em TOM-795 (21.50 t ha⁻¹), TOM-777 (32.60 t ha⁻¹) e TOM-780 (41.98 t ha⁻¹), evidenciando ampla variabilidade entre os materiais avaliados.

A produção comercial apresentou ampla variação entre os genótipos, com valores que oscilaram de 11.02 t ha⁻¹ (TOM-795) a 126.63 t ha⁻¹ (Paipai). Novamente, combinações envolvendo o acesso BPX-466F-174-01-05-108-05 obtiveram os maiores rendimentos, como BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812 (118.10 t ha⁻¹) e BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811 (99.98 t ha⁻¹), além de cruzamentos como TOM-760 × TOM-724 (107.33 t ha⁻¹) e TOM-723 × TOM-812 (78.87 t ha⁻¹), todos agrupados entre os genótipos superiores. Em contraste, os menores valores foram observados em TOM-795 (11.02 t ha⁻¹), TOM-780 (12.94 t ha⁻¹), TOM-795 × BPX-466F-174-01-05-108-05 (14.85 t ha⁻¹) e TOM-777 (20.25 t ha⁻¹).

A massa média de frutos comerciais (MMFC) apesar de não diferir estatisticamente entre os genótipos, apresentou variação entre 88.0 g/fruto (TOM-780) a 131.0 g/fruto (TOM-804 × TOM-812). Os maiores valores foram observados em TOM-804 × TOM-812 (131.0 g/fruto), TOM-804 (117.3 g/fruto), Paipai (116.6 g/fruto), TOM-700 (116.6 g/fruto) e TOM-724 (116.0 g/fruto). Por outro lado TOM-780 (88.0 g/fruto), TOM-812 (93.6 g/fruto), TOM-684 (94.6 g/fruto) e TOM-780 × TOM-812 (97.0 g/fruto), apresentaram os menores valores.

O número de frutos comerciais (NFC) apresentou diferenças expressivas, variando de apenas 100 frutos ha⁻¹ (TOM-795) a 1153 frutos ha⁻¹ (BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812), o que representa uma diferença superior a 1000 frutos ha⁻¹ entre os extremos.

BPX-466F-174-01-05-108-05 $\times$ TOM-812 (1153 frutos ha^{-1}), Paipai (1073 frutos ha^{-1}), TOM-760 $\times$ TOM-724 (1033 frutos ha^{-1}) e TOM-780 $\times$ TOM-812 (913 frutos ha^{-1}), também permaneceram posicionados entre os genótipos superiores. Os menores valores foram observados em TOM-795 (100 frutos ha^{-1}), TOM-780 (147 frutos ha^{-1}), TOM-795 $\times$ BPX-466F-174-01-05-108-05 (140 frutos ha^{-1}) e TOM-777 (180 frutos ha^{-1}). Esses resultados reforçam a ampla variabilidade entre os materiais avaliados.

Quanto ao tamanho relativo do fruto, a relação diâmetro longitudinal/diâmetro transversal (DL/DT) variou de 0.87 (TOM-804) a 2.82 (TOM-723), sendo que a maioria dos genótipos apresentou valores superiores a 1.5. Valores inferiores a 1.5 foram observados em TOM-804 (0.87), TOM-795 (1.04), TOM-684 (1.27), TOM-780 (1.27), TOM-777 (1.38), TOM-795 $\times$ BPX-466F-174-01-05-108-05 (1.40), TOM-811 (1.36), TOM-700 (1.44) e TOM-812 $\times$ BPX-466F-174-01-05-108-05 (1.47). Além disso, verificou-se que os frutos de maior massa média também corresponderam aos de maior tamanho, como em TOM-804 $\times$ TOM-812 (DL 81.20 mm e DT 47.57 mm) e Paipai (DL 82.20 mm e DT 47.35 mm). No caso de TOM-804 (DL 55.90 mm e DT 64.00 mm), o elevado valor de massa média esteve associado ao maior DT, ainda que o DL tenha sido reduzido. Em contraste, os menores valores de massa média corresponderam a frutos de dimensões reduzidas, como em TOM-780 (DL 64.10 mm e DT 50.67 mm), TOM-812 (DL 75.40 mm e DT 36.39 mm) e TOM-684 (DL 61.40 mm e DT 36.97 mm). Esses resultados evidenciam a associação direta entre massa e tamanho dos frutos, ainda que com variação na relação DL/DT entre os genótipos.

Tabela 5 – Características de produção. Produção total de frutos (PT, ton ha⁻¹), produção comercial (PC, ton ha⁻¹), massa média de frutos comerciais (MMFC, g/fruto), número frutos comerciais (NFC, frutos/planta), tamanho relativo do fruto: diâmetro longitudinal (DL, mm) e diâmetro transversal (DT, mm).

Genótipo	Características				Tamanho relativo do fruto		
	PT	PC ¹	MMFC	NFC ¹	DL	DT	(DL/DT)
TOM-760 × TOM-811	109.86 a	67.25 a	107.6 a	607 a	70.02 c	44.60 c	1.57
TOM-777 × TOM-811	115.48 a	88.92 a	110.6 a	807 a	68.80 c	45.51 c	1.51
TOM-780 × TOM-811	88.96 b	52.90 a	94.3 a	560 b	64.60 c	42.72 c	1.48
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811	139.38 a	99.98 a	110.6 a	880 a	65.30 c	43.55 c	1.50
TOM-795 × TOM-811	74.94 b	56.14 a	111.6 a	487 b	72.10 b	30.60 d	2.36
TOM-723 × TOM-811	76.04 b	33.25 a	109.0 a	673 a	76.50 b	42.76 c	1.79
TOM-724 × TOM-811	76.44 b	71.60 a	111.0 a	647 a	70.10 c	39.58 c	1.77
TOM-804 × TOM-811	85.48 b	58.71 a	121.3 a	493 b	77.20 b	43.34 c	1.78
TOM-760 × TOM-812	117.96 a	68.03 a	99.6 a	680 a	65.80 c	43.13 c	1.53
TOM-780 × TOM-812	156.14 a	90.97 a	97.0 a	913 a	66.70 c	42.62 c	1.56
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812	181.52 a	118.10 a	100.6 a	1153 a	65.60 c	43.73 c	1.50
TOM-795 × TOM-812	96.38 b	65.16 a	108.6 a	600 a	78.00 b	41.60 c	1.88
TOM-723 × TOM-812	110.06 a	78.87 a	107.6 a	727 a	76.90 b	42.16 c	1.82
TOM-724 × TOM-812	76.32 b	51.00 a	102.0 a	500 b	74.90 b	32.37 d	2.31
TOM-804 × TOM-812	63.96 b	32.62 a	131.0 a	627 a	81.20 a	47.57 c	1.71
TOM-760 × TOM-723	118.00 a	77.18 a	104.3 a	767 a	68.20 c	43.08 c	1.58
TOM-760 × TOM-724	153.02 a	107.33 a	103.3 a	1033 a	67.20 c	44.58 c	1.51
TOM-795 × TOM-768	85.42 b	59.84 b	110.0 a	547 b	75.90 b	41.95 c	1.81
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-768	117.06 a	69.18 a	108.6 a	633 a	72.90 b	45.70 c	1.60
TOM-723 × TOM-768	105.74 a	76.01 a	106.6 a	713 a	81.30 a	42.63 c	1.91
TOM-724 × TOM-768	72.30 b	45.60 b	105.3 a	440 b	86.40 a	36.52 d	2.37
TOM-804 × TOM-768	59.52 b	42.44 a	115.0 a	340 b	72.30 b	51.48 b	1.40
TOM-795 × TOM-700	33.90 b	13.72 c	97.3 a	133 b	59.40 c	57.07 b	1.04

Continua...

Continuação.

Genótipo	Características				Tamanho relativo do fruto		
	PT	PC ¹	MMFC	NFC ¹	DL	DT	(DL/DT)
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700	122.16 a	92.82 a	119.3 a	787 a	67.80 c	44.70 c	1.47
TOM-760	76.36 b	31.26 b	109.3 a	293 b	61.00 c	40.58 c	1.47
TOM-777	32.60 b	20.25 c	108.3 a	180 b	61.10 c	30.57 d	2.00
TOM-780	41.98 b	12.94 c	88.0 a	147 b	64.10 c	50.67 b	1.27
TOM-795	21.50 b	11.02 c	107.0 a	100 b	74.90 b	32.37 d	2.31
TOM-804	49.34 b	36.60 b	117.3 a	300 b	55.90 c	64.00 a	0.87
TOM-811	125.36 a	76.61 a	101.6 a	753 a	72.70 b	40.81 c	1.78
TOM-812	128.72 a	53.17 a	93.6 a	553 b	75.40 b	36.39 d	2.07
TOM-723	81.14 b	50.96 a	109.6 a	440 b	76.10 b	26.99 d	2.82
TOM-724	70.64 b	50.58 a	116.0 a	433 b	73.20 b	26.39 d	2.77
TOM-768	100.51 a	62.28 a	102.6 a	620 a	83.60 a	30.13 d	2.77
TOM-700	95.44 b	42.68 b	116.6 a	367 b	72.70 b	42.08 c	1.73
TOM-684	101.48 a	47.87 b	94.6 a	473 b	61.40 c	36.97 d	1.66
BPX-466F-174-01-05-108-05	131.02 a	75.99 a	102.0 a	733 a	68.40 c	39.02 c	1.75
Paipai	157.44 a	126.63 a	116.6 a	1073 a	82.20 a	47.35 c	1.74
CV (%)	36.95	23.28	12.93	21.47	11.86	23.58	-
p-value	p<0.05						

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. Não foi medida ou considerada a produção da espécie silvestre de *S. pennelli* LA-716 Fonte: Autor (2026). ¹Variáveis transformadas por raiz quadrada.

4.5.2 Qualidade de fruto

Os genótipos diferiram significativamente entre si para os caracteres de qualidade dos frutos (Tabela 6). Os valores médios de SS variaram de 3.19 °Brix (BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700) a 4.82 °Brix (TOM-780 × TOM-811), sendo este último o maior valor observado entre os tratamentos. Outros materiais também apresentaram elevados teores de SS, como TOM-700 (4.70 °Brix), BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-768 (4.62 °Brix), TOM-804 × TOM-768 (4.56 °Brix), superando a cultivar Paipai (4.44 °Brix). Em contrapartida, os menores valores foram verificados em BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700 (3.19 °Brix), TOM-760 × TOM-724 (3.43 °Brix) e TOM-795 × TOM-811 (3.45 °Brix).

Quanto à firmeza, os genótipos apresentaram variações significativas, com destaque para a linhagem TOM-724 (17,91 N), seguida pela linhagem TOM-811 (17,78 N) e pelo híbrido BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700 (17,78 N), todos pertencentes ao grupo de maior firmeza. Outros genótipos que apresentaram boa integridade de polpa foram TOM-723 × TOM-811 (16,46 N) e TOM-795 × TOM-812 (16,34 N), superando numericamente o padrão comercial Paipai (15,71 N). Em contrapartida, os menores valores de firmeza foram registrados para os híbridos BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811 (11,47 N), TOM-804 × TOM-768 (11,94 N) e para a linhagem TOM-795 (11,94 N).

Tabela 6 – Características de resistência e qualidade de frutos. Resultado médio do número de ovos e ninfas de mosca-branca/cm², encontrados no estágio vegetativo e reprodutivo das plantas, Absorbância relativa de açúcares (ABS, nm), Firmeza (N) e Sólidos Solúveis (°Brix).

Genótipo	Resistência				ABS	Qualidade	
	Vegetativo		Reprodutivo			Firmeza (N)	Sólidos Solúveis (°Brix)
	Ovos ¹	Ninfas	Ovos ¹	Ninfas			
TOM-760 × TOM-811	22.33 f	11.00 c	19.00 c	7.67 e	0.50 b	13.35 c	3.99 b
TOM-777 × TOM-811	28.33 f	8.67 c	33.33 b	11.00 e	0.42 b	14.01 c	3.73 b
TOM-780 × TOM-811	25.33 f	11.00 c	18.33 c	10.00 e	0.41 b	15.82 b	4.82 a
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811	26.67 f	11.67 c	21.33 c	15.33 d	0.59 b	11.47 c	4.27 a
TOM-795 × TOM-811	83.33 c	44.00 b	46.67 b	27.33 c	0.38 b	14.98 b	3.45 c
TOM-723 × TOM-811	90.33 c	44.33 b	67.00 a	28.67 c	0.49 b	16.46 a	4.14 a
TOM-724 × TOM-811	69.33 d	48.33 b	38.00 b	37.67 b	0.49 b	13.17 c	3.48 c
TOM-804 × TOM-811	58.00 d	45.67 b	47.67 b	33.67 c	0.43 b	15.68 b	4.34 a
TOM-760 × TOM-812	30.67 f	10.00 c	17.00 c	8.67 e	0.45 b	13.12 c	3.45 c
TOM-780 × TOM-812	58.00 d	10.00 c	22.00 c	12.67 d	0.46 b	14.45 c	4.29 a
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812	32.67 e	11.67 c	14.33 d	15.33 d	0.54 b	13.86 c	4.16 a
TOM-795 × TOM-812	24.67 f	45.00 b	32.33 b	31.00 c	0.48 b	16.34 a	4.14 a
TOM-723 × TOM-812	87.67 c	45.00 b	45.67 b	25.33 c	0.60 b	14.32 c	4.33 a
TOM-724 × TOM-812	54.67 d	58.00 a	29.33 b	32.00 c	0.40 b	12.94 c	3.80 b
TOM-804 × TOM-812	84.67 c	45.00 b	59.67 a	25.67 c	0.36 b	14.55 c	4.56 a
TOM-760 × TOM-723	62.00 d	54.00 a	38.67 b	32.00 c	0.53 b	14.67 c	3.88 b
TOM-760 × TOM-724	177.33 a	41.67 b	33.33 b	27.33 c	0.50 b	14.97 c	3.43 c
TOM-795 × TOM-768	76.67 c	49.00 b	93.33 a	31.00 c	0.47 b	14.07 c	4.42 a
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-768	45.33 e	44.33 b	36.33 b	30.00 c	0.55 b	15.07 b	4.62 a
TOM-723 × TOM-768	130.67 b	55.67 a	74.67 a	39.67 b	0.49 b	13.42 c	3.79 b
TOM-724 × TOM-768	122.00 b	48.33 b	79.00 a	30.33 c	0.49 b	13.56 c	4.30 a

Continua...

Continuação.

Genótipo	Resistência				ABS	Qualidade	
	Vegetativo		Reprodutivo			Firmeza (N)	Sólidos Solúveis (°Brix)
	Ovos ¹	Ninfas	Ovos ¹	Ninfas			
TOM-804 × TOM-768	83.00 c	54.67 a	74.67 a	36.00 b	0.48 b	11.94 c	4.56 a
TOM-795 × TOM-700	88.33 c	43.67 b	42.67 b	34.33 c	0.53 b	13.66 c	4.44 a
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700	66.67 d	44.67 b	24.33 c	24.00 c	0.52 b	17.78 a	3.19 b
TOM-795 × TOM-684	72.33 c	42.33 b	48.00 b	39.33 b	0.54 b	13.59 c	3.91 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-684	77.00 c	43.67 b	17.00 c	33.00 c	0.57 b	13.47 c	3.94 b
TOM- 795 × BPX-466F-174-01-05-108-05	41.67 e	49.67 b	52.67 b	32.00 c	0.47 b	14.06 c	3.62 c
TOM-760	42.33 e	11.33 c	9.33 d	18.67 d	0.66 b	12.76 c	4.27 a
TOM-777	41.67 e	11.33 c	18.67 c	19.33 d	0.46 b	13.90 c	4.00 b
TOM-780	20.67 f	7.67 c	42.00 b	6.33 e	0.47 b	12.75 c	3.87 b
TOM-795	131.00 b	40.33 b	114.00 a	27.33 c	0.40 b	11.94 c	4.40 a
TOM-804	84.33 c	39.33 b	96.67 a	36.67 b	0.47 b	15.60 b	3.68 b
TOM-811	43.00 e	11.00 c	30.00 b	14.00 d	0.37 b	17.78 a	4.10 a
TOM-812	36.33 e	12.67 c	25.67 c	13.67 d	0.45 b	14.47 c	4.07 a
TOM-723	129.33 b	65.33 a	56.00 b	31.00 c	0.48 b	14.88 b	4.14 a
TOM-724	77.00 c	46.00 b	39.33 b	39.33 b	0.41 b	17.91 a	3.76 b
TOM-768	181.00 a	45.00 b	89.33 a	39.67 b	0.49 b	14.84 b	4.18 a
TOM-700	109.33 b	46.33 b	40.67 b	34.33 c	0.67 b	13.83 c	4.70 a
TOM-684	73.67 c	42.00 b	89.00 a	52.00 a	0.44 b	14.26 c	3.96 b
BPX-466F-174-01-05-108-05	30.33 f	16.00 c	14.33 d	16.00 d	0.48 b	14.98 b	4.23 a
Paipai	127.67 b	57.67 a	34.67 b	35.33 b	0.45 b	15.71 b	4.44 b
<i>S. pennellii</i> LA-716	5.33 g	3.33 c	0.00 e	1.33 e	0.99 a	-	-
CV (%)	4.43	21.67	6.72	21.67	19.46	15.22	14.13
p-value	p<0.05						

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. ¹Variáveis transformadas por logaritmo. Fonte: Autor (2026).

4.5.3 Característica de Resistência à Mosca-branca

Foram observadas diferenças significativas entre os genótipos para todas as variáveis analisadas, evidenciando ampla variabilidade fenotípica quanto aos parâmetros relacionados à sobrevivência, reprodução e desenvolvimento da mosca-branca (Tabela 6). Os coeficientes de variação (CV) apresentaram valores entre 6.72 e 21.67%, sendo mais elevados nas variáveis de ninfas, o que indica maior heterogeneidade nesse estágio de desenvolvimento.

O número de ovos/cm² na fase vegetativa variou de 5.33 (*S. pennellii* LA-716) a 181.00 (TOM-768). Entre os híbridos, valores reduzidos foram observados em TOM-780 × TOM-811 (25.33) e BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812 (32.67) que se aproximaram do padrão resistente, sendo ambos portadores de alelos relacionados à síntese de acilaçúcares e zingibereno, enquanto cruzamentos como TOM-723 × TOM-768 (130.67) e TOM-724 × TOM-768 (122.00) mantiveram valores elevados, reproduzindo o comportamento suscetível dos parentais.

O número de ninfas/cm² na fase vegetativa apresentou variação de 3.33 (*S. pennellii* LA-716) a 65.33 em TOM-723. Além dele, outros materiais também apresentaram valores elevados, como TOM-724 × TOM-812 (58.00), TOM-760 × TOM-723 (54.00), TOM-723 × TOM-768 (55.67), TOM-804 × TOM-768 (54.67) e Paipai (57.67), todos compondo o grupo de maior suscetibilidade nessa variável. Em contraste, híbridos como TOM-760 × TOM-811 (11.00) e TOM-780 × TOM-811 (11.00) apresentaram valores reduzidos, posicionando-se próximos ao padrão resistente.

Na fase reprodutiva o número de ovos/cm² teve ampla variabilidade entre os genótipos, de 0.00 em *S. pennellii* (LA-716), confirmando sua resistência absoluta, a 114.00 (TOM-795). Valores elevados também foram observados nas linhagens TOM-804 (96.67) e TOM-768 (89.33). Entre os híbridos, destacaram-se TOM-795 × TOM-768 (93.33) e TOM-804 × TOM-812 (59.67), ambos com desempenho desfavorável, mesmo possuindo em seu *background* a presença do gene *Mi*. Em contraste, cruzamentos como BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-684 (17.00) (com alelos do gene *Mi* e acilaçúcares) e BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812 (14.33) (com alelos de acilaçúcares) apresentaram valores reduzidos, aproximando-se do padrão resistente e evidenciando transmissão parcial do caráter de resistência.

O número de ninfas/cm² na fase reprodutiva evidenciou diferenças expressivas na resposta à infestação. Os valores variaram de 1.33 (*S. pennellii* LA-716) a 52.00

(TOM-684), que se destacou como o material mais suscetível nessa variável, mesmo apresentando alelos do gene *Mi*. Entre as linhagens observaram-se valores elevados em TOM-723 (31.00), TOM-724 (39.33), TOM-768 (39.67) e TOM-804 (36.67). Nos híbridos, também houve ampla variação, TOM-760 × TOM-811 (7.67) (portador de alelos do gene *Mi* e alelos relacionados à síntese e acilaçúcares) e TOM-780 × TOM-811 (10.00) (portador de alelos relacionados à síntese de acilaçúcares e zingigereno) apresentaram valores reduzidos, próximos ao padrão resistente. Por outro lado, outros cruzamentos exibiram desempenho desfavorável, como TOM-723 × TOM-768 (39.67), TOM-724 × TOM-811 (37.67) (com alelos de *Mi* e acilaçúcares), TOM-795 × TOM-684 (39.33) (com alelos de *Mi* e *Ty-1*) e TOM-804 × TOM-811 (33.67) (com alelos de *Mi* e acilaçúcares), todos compondo o grupo de maior suscetibilidade.

A absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) oscilou de 0.36 nm (TOM-811) a 0.99 nm (*S. pennellii* LA-716). Entre as linhagens, valores elevados foram observados em TOM-700 (0.67 nm) e TOM-760 (0.66 nm), enquanto TOM-795 (0.40 nm) e TOM-804 (0.47 nm) apresentaram absorbância menor. Nos híbridos, a ABS variou entre 0.36 nm (TOM-804 × TOM-812) e 0.60 nm (TOM-723 × TOM-812), evidenciando diferentes níveis de recuperação do caráter nos materiais avaliados.

Com exceção de *S. pennellii* LA-716 que confirmou a associação direta entre alta ABS e resistência absoluta, entre os demais materiais foi observado que os maiores valores nem sempre se traduziram em maior resistência. Genótipos como TOM-723 × TOM-812 (0.60 nm) e BPX-466F × TOM-811 (0.59 nm) combinaram maiores ABS com redução consistente na sobrevivência e oviposição, evidenciando desempenho superior. Em contrapartida, BPX-466F × TOM-684 (0.57 nm), apesar de apresentar ABS relativamente alta, manteve valores elevados de ninfas e ovos, aproximando-se do comportamento suscetível do parental.

Por outro lado, alguns genótipos com baixa ABS também apresentaram respostas interessantes. TOM-780 × TOM-811 (0.41 nm) e TOM-760 × TOM-811 (0.50 nm), mesmo com valores reduzidos de absorbância, mostraram desempenho favorável ao limitar a sobrevivência das ninfas, sugerindo que outros fatores genéticos ou fisiológicos podem estar contribuindo para a resistência. Já TOM-795 (0.40 nm) e seus derivados confirmaram o padrão suscetível, com altos valores de ovos e ninfas em ambas as fases.

4.5.4 Análise de Componentes Principais para produtividade e qualidade do fruto

Pela análise de componentes principais (PCA) foi observado que os dois

primeiros componentes foram responsáveis 58.78% da variação total (Figura 5). As variáveis PT, PC e NFC contribuíram similarmente para a separação dos genótipos, pois apresentaram vetores de mesmo tamanho e estão próximas ao eixo PCA1 (Figura 5A). Além disso, estão altamente correlacionados. Por outro lado, foi verificada correlação inversa entre SS e DT, indicando que genótipos com frutos de maior diâmetro transversal tendem a apresentar menores teores de SS, como TOM-724 x TOM-768 (6.93 °Brix; 36.52 mm) e TOM-723 (6.77 °Brix; 26.99 mm) que apresentaram frutos de menor DT e TOM-804 (4.33 °Brix; 64.00 mm) que exibiu frutos de maior DT. As variáveis MMFC e DL apresentaram correlação positiva, indicando que o aumento do diâmetro longitudinal contribuiu diretamente para o incremento da massa média dos frutos, como observado em TOM-724 x TOM-768 (86.40 mm; 116.0 g/fruto) e Paipai (82.20 mm; 116.6 g/fruto).

Na dispersão gráfica da PCA, os genótipos foram alocados em três grupos (Figura 5B). O grupo 1, reuniu apenas quatro genótipos (TOM-804 x TOM-812, TOM-804 x TOM-811, TOM-804 x TOM-768 e TOM-804), caracterizados por maiores médias DT, porém com as menores estimativas SS e componentes de produção. O grupo 2 concentrou a maioria dos materiais, os quais não se destacaram por extremos de produtividade ou qualidade. É possível notar isolamentos específicos, como o TOM-724, que se destacou pelo maior teor de SS associado a frutos de menor diâmetro, e o TOM-804 x TOM-812, que obteve elevada MMFC. Já o TOM-795 ficou extremamente distante de todos os vetores, reflexo de seu desempenho consistentemente baixo em praticamente todas as variáveis avaliadas, o que confirma o padrão evidenciado pela ANOVA. Oito genótipos constituíram o grupo 3, incluindo a cultivar Paipai e quatro combinações com o acesso BPX-466F-174-01-05-108-05, que se destacaram pelos maiores valores de PT, PC e NFC.

Figura 5 – Análise de Componentes Principais (PCA) entre características de produtividade e qualidade do fruto (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). Produção total de frutos (PT, ton ha⁻¹), produção comercial (PC, ton ha⁻¹), massa média de frutos comerciais (MMFC, g/fruto), número de frutos comerciais (NFC, frutos/planta), diâmetro longitudinal (DL, mm), diâmetro transversal (DT, mm), sólidos solúveis (SS, °Brix).

4.5.5 Análise de Componentes Principais para Resistência à *B. tabaci*

A análise de componentes principais (PCA) aplicada às variáveis relacionadas à resistência, indicou que os dois primeiros componentes explicaram 80.29% da variabilidade observada entre os genótipos (Figura 6). O gráfico de vetores (Figura 6A) demonstra uma forte associação entre os parâmetros de sobrevivência e reprodução da praga e correlação inversa com a absorbância relativa de açúcares (ABS), confirmando que genótipos com maiores ABS tendem a apresentar menores níveis de infestação por *B. tabaci*, biótipo B.

A dispersão gráfica dos genótipos permitiu a formação de quatro grupos distintos (Figura 6B), classificados de acordo com seu nível de resistência. O grupo 1, foi composto exclusivamente pelo acesso silvestre *S. pennellii* LA-716, que se manteve isolado na extremidade do gráfico devido ao seu alto valor de ABS e resistência absoluta. O grupo 2 reuniu 13 genótipos com desempenho superior em termos de resistência, sendo seis linhagens (TOM-760, TOM-777, TOM-780, TOM-811, TOM-812 e BPX-466F-174-01-05-108-05) e os outros sete são híbridos derivados diretamente desses parentais. Esta configuração demonstra a eficiência da transmissão do caráter de resistência, uma vez que linhagens com altos teores de açúcares tenderam a gerar híbridos que se mantiveram no mesmo agrupamento.

No terceiro grupo foram alocados genótipos com desempenho intermediário, situando-se em uma zona de transição entre a resistência e a suscetibilidade. Um ponto de destaque foi o posicionamento da linhagem TOM-700 que, embora apresente valor elevado de ABS (0.66), exibiu valores moderados de infestação de ovos e ninfas, o que justificou seu isolamento. A transmissão parcial das características de defesa foi evidenciada pela alocação de todos os híbridos derivados desse parental dentro deste mesmo agrupamento. De forma análoga, a maior parte dos cruzamentos envolvendo a linhagem TOM-795 também foi concentrada no grupo 3, consolidando o padrão de resposta intermediária desses materiais frente à infestação. Em suma, este grupo representa genótipos que associam ABS média a elevada a uma supressão apenas parcial da sobrevivência e reprodução da mosca-branca, apresentando estrita convergência com os resultados observados na ANOVA.

No grupo 4 foram incluídos os genótipos de maior suscetibilidade, como testemunha comercial Paipai, além das linhagens TOM-723, TOM-724, TOM-768 e TOM-795, que exibiram os maiores valores de ovos e ninfas nas avaliações.

Observando a ordem dos parentais nos cruzamentos é possível verificar padrões distintos de resistência, permitindo identificar o papel específico de cada genitor. No

segundo grupo todos os híbridos tiveram TOM-811 ou TOM-812 como doadores de pólen. Ao verificar o desempenho dos genitores femininos envolvidos (TOM-760, TOM-777, TOM-780 e BPX-466F-174-01-05-108-05), percebe-se que isoladamente eles não se destacaram como altamente resistentes. Portanto, o posicionamento no grupo de elite não foi apenas resultado da combinação, mas sim fortemente impulsionado pela atuação dos genitores masculinos, que transmitiram de forma consistente a resistência.

A linhagem TOM-795 foi o genótipo mais suscetível. Apenas no cruzamento TOM-795 × TOM-768, em que atuou como mãe e foi combinado com outro genótipo também suscetível, o híbrido permaneceu no grupo 4. Nos demais cruzamentos, quando foi utilizada como genitor feminino e o genitor masculino apresentava melhor desempenho (811, 812, 700 ou 684), os híbridos migraram para o grupo 3 (intermediário). Isso evidencia que, mesmo partindo de um parental feminino altamente vulnerável, a escolha de pais mais fortes foi capaz de elevar o desempenho dos híbridos, evitando que caíssem no grupo de maior suscetibilidade.

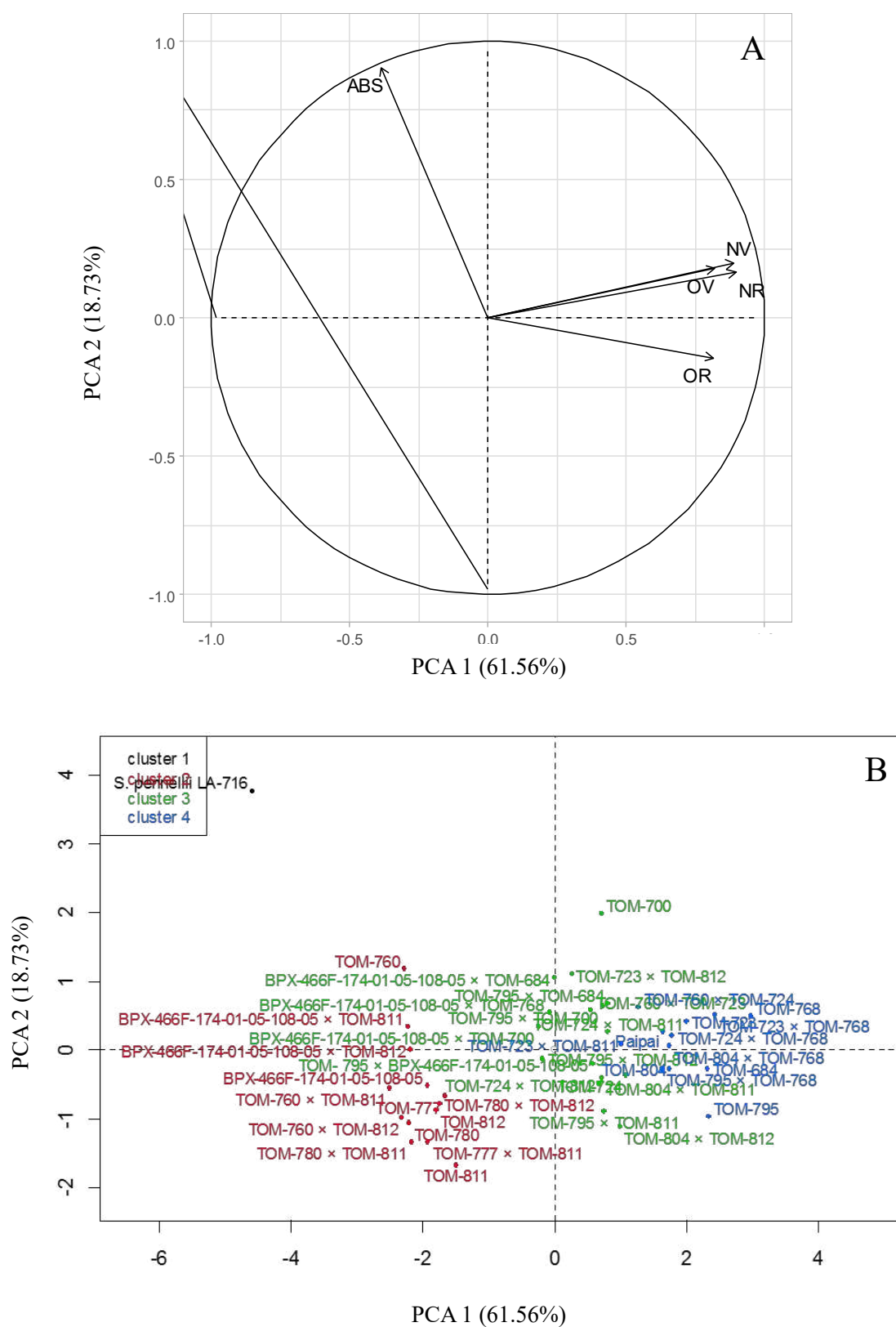


Figura 6 – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à *B. tabaci* (A) gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). Absorbância relativa de açúcares (ABS), ovos estágio vegetativo (OV/cm²), ninfas estágio vegetativo (NV/cm²), ovos estágio reprodutivo (OR/cm²), ninfas estágio reprodutivo (NR/cm²).

4.5.6 Contrastes de interesse para *B. tabaci*

A base de comparação para a resistência foi estabelecida confrontando-se os genótipos experimentais com os padrões de controle. Observou-se que os genótipos tidos como suscetíveis apresentaram comportamentos semelhantes à testemunha comercial Paipai, também suscetível. As diferenças entre eles quanto ao número de ovos e ninfas, em ambos os estágios fenológicos, foram próximas de zero e, em geral, não significativas (Contraste C01) (Tabela 7).

Em oposição drástica, o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716 demonstrou um nível de resistência absoluta. As estimativas dos contrastes revelaram reduções substanciais e estatisticamente significativas ($p < 0,001$) em todos os parâmetros biológicos da praga, tanto no vegetativo quanto no reprodutivo, quando comparado aos genótipos suscetíveis (C02) e ao Paipai (C03). No estágio vegetativo, o LA-716 reduziu a densidade ninfal em -54,33 em relação ao Paipai, confirmando-se como o limite superior de defesa biológica no germoplasma avaliado.

Os resultados consolidam os acilaçúcares como o principal mecanismo de defesa contra a mosca-branca. Genótipos ricos nesses aleloquímicos, seja em homozigose ou heterozigose, mostraram-se sensivelmente mais resistentes do que os materiais suscetíveis (C05, C08, C09, C11–C16). A magnitude da resistência foi fortemente influenciada pela dose alélica. Genótipos homozigotos para acilaçúcares apresentaram níveis de proteção, representados principalmente pela redução no número de ninfas, substancialmente maiores (C08, C11, C12, C13, C15, C16) do que as suas contrapartidas heterozigotas (C05, C09, C14). Enquanto o acilaçúcar em heterozigose reduziu ninfas em -10,78 no vegetativo (C05), a condição de homozigose isolada (C11) ampliou essa redução para -42,73, evidenciando que a carga alélica completa é essencial para uma supressão robusta da praga.

Diferentemente do esperado, a presença de zingibereno (homozigose ou heterozigose), quando associada a níveis de acilaçúcar em homozigose, não provocou alterações relevantes (C13, C16) nos níveis de resistência em comparação a genótipos que possuíam apenas a homozigose para acilaçúcar (C08, C11, C12, C15, C25) ou mesmo na sua ausência (C26). Isso sugere que, uma vez atingido o patamar de defesa conferido pela homozigose de acilaçúcares, o efeito do zingibereno torna-se redundante ou pouco incremental frente a *B. tabaci*.

Quanto aos efeitos dos alelos *Mi* (resistência a nematoides) e *Ty-1* (resistência a begomovírus), estes mostraram-se secundários. Na ausência de acilaçúcares, a presença de *Mi* (isolado ou com *Ty-1*) provocou apenas reduções ligeiras e limitadas no número de ninfas no estágio vegetativo (C06, C07, C10), especialmente com *Mi* em homozigose. No entanto,

essa proteção foi drasticamente inferior à conferida pelos aleloquímicos.

Na presença de acilaçúcares, o gene *Mi* causou alterações pouco relevantes nos níveis de infestação (C21, C22). Mesmo em piramidação com *Ty-I*, esses genes não foram capazes de superar o teto de resistência estabelecido pelos genótipos homozigotos para acilaçúcar (C23, C24). Notavelmente, a piramidação tripla em heterozigose foi inclusive inferior à homozigose isolada para acilaçúcar (C23).

Em síntese, os contrastes demonstram que a homozigose para acilaçúcares constitui o principal determinante da resistência à *B. tabaci*, com reduções consistentes em ovos e ninfas nos diferentes estádios. A piramidação com *Mi* e *Ty-I* oferece contribuições secundárias e limitadas, sendo incapaz de superar ou substituir a eficácia da carga alélica completa para acilaçúcares. Além disso, a associação com zingibereno mostrou-se inconsistente, podendo inclusive comprometer a resistência. Esses resultados corroboram os padrões já observados na ANOVA e na PCA, que apontaram os acilaçúcares como o eixo central da resistência, enquanto *Mi* e *Ty-I* explicam apenas variações secundárias.

Entre os materiais experimentais, o híbrido TOM-760 × TOM-811 (T29), que combina essa carga alélica de acilaçúcares com a heterozigose para o gene *Mi*, destacou-se por apresentar a menor densidade ninfal no estágio reprodutivo (7,67 ninfas/cm²) entre todos os materiais cultivados. O híbrido TOM-780 × TOM-811 (T32), portador de homozigose para acilaçúcares e heterozigose para zingibereno, apresentou redução da oviposição na fase vegetativa (25,33 ovos/cm²). Além destes, o cruzamento BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812 (T25) manteve uma defesa consistente ao longo de todo o ciclo, com baixas densidades de ovos (14,33/cm²) e ninfas (11,67/cm²). A linhagem TOM-760 (T37) também figurou entre os melhores materiais ao reunir a homozigose tanto para acilaçúcares quanto para o gene *Mi*, resultando em baixos níveis de infestação em ambas as fases.

Entre as linhagens, TOM-768 (T03) e TOM-723 (T02), ambas sem alelos de resistência, destacaram-se como as mais suscetíveis, registrando os maiores valores de ovos (181,00/cm²) e ninfas (65,33/cm²) no estágio vegetativo, respectivamente. No reprodutivo, TOM-795 (T40) e TOM-684 (T13) também se mostraram vulneráveis, com 114,00 ovos/cm² e 52,00 ninfas/cm², respectivamente, apesar de portarem *Mi* e/ou *Ty-I* em homozigose, evidenciando que a ausência de acilaçúcares comprometeu a defesa. Entre os híbridos, TOM-723 × TOM-768 (T01) foi o mais suscetível, com 130,67 ovos/cm² e 55,67 ninfas/cm² no vegetativo, seguido por TOM-724 × TOM-768 (T04) e TOM-795 × TOM-768 (T09), ambos com altas infestações. Mesmo com *Mi* e *Ty-I* em heterozigose (T09) ou *Mi* isolado (T04), a falta de acilaçúcares manteve esses materiais no grupo de maior suscetibilidade. Esses

resultados confirmam que a piramidação de genes maiores, sem a presença de aleloquímicos, não garante resistência efetiva contra *B. tabaci*.

Tabela 7 – Estimativas dos contrastes de interesse sob o número ovos e ninfas/cm² de *B. tabaci* no estágio vegetativo e reprodutivo nos genótipos de tomateiro avaliados.

Contrastes	Comparações	Vegetativo		Reprodutivo	
		Ovos	Ninfas	Ovos	Ninfas
C01	T41 - (T01+T02+T03)/3	-0.11 ns	2.33 ns	-0.77 ***	-1.44 ns
C02	T42 - (T01+T02+T03)/3	-3.17 ***	-52.00 ***	-4.28 ***	-35.44 ***
C03	T42 - T41	-3.07 ***	-54.33 ***	-3.51 ***	-34.00 ***
C04	(T04+T05)/2 - (T01+T02+T03)/3	-0.35 ***	-3.83 ns	0.05 ns	-3.61 ns
C05	(T06+T07+T08)/3 - (T01+T02+T03)/3	-0.69 ***	-10.78 ***	-0.40 ***	-8.78 **
C06	T09 - (T01+T02+T03)/3	-0.63 ***	-6.33 ns	0.26 ns	-5.78 ns
C07	(T10+ ..+T13)/4 - (T01+T02+T03)/3	-0.52 ***	-11.92 ***	-0.16 ns	3.81 ns
C08	(T14+T15+..+T20)/7 - (T01+T02+T03)/3	-0.76 ***	-6.86 **	-0.74 ***	-5.63 *
C09	T21 - (T01+T02+T03)/4	0.21 ns	-13.67 ***	-0.78 ***	-9.44 *
C10	(T22+T23)/2 - (T01+T02+T03)/4	-0.58 ***	-12.33 ***	-0.47 ***	0.06 ns
C11	(T24+T25+...+T28)/5 - (T01+T02+T03)/3	-1.44 ***	-42.73 ***	-1.26 ***	-21.91 ***
C12	(T29+T30+T31)/3 - (T01+T02+T03)/3	-1.64 ***	-45.44 ***	-1.15 ***	-27.67 ***
C13	(T32+T33)/2 - (T01+T02+T03)/3	-1.29 ***	-44.83 ***	-1.24 ***	-25.44 ***
C14	(T34+T35+T36)/3 - (T01+T02+T03)/3	-1.18 ***	-9.11 ***	-0.51 ***	-6.67 *
C15	(T37+T38)/2 - (T01+T02+T03)/3	-1.21 ***	-44.00 ***	-1.64 ***	-17.78 ***
C16	T39 - (T01+T02+T03)/3	-1.91 ***	-47.67 ***	-0.55 ***	-30.44 ***
C17	T40 - (T01+T02+T03)/3	-0.10 ns	-15.00 ***	0.40 *	-9.44 *
C18	(T10+ ..+T13)/4 - (T04+T05)/2	-0.17 ns	-8.08 **	-0.21 ns	7.42 **
C19	T40 - T09	0.53 ***	-8.67 ns	0.14 ns	-3.67 ns
C20	(T22+T23)/2 - T09	0.05 ns	-6.00 ns	-0.72 ***	5.83 ns
C21	(T37+T38)/2 - (T24+T25+...+T28)/5	0.23 **	-1.27 ns	-0.38 ***	4.13 ns
C22	(T29+T30+T31)/3 - (T24+T25+...+T28)/5	-0.21 **	-2.71 ns	0.11 ns	-5.76 *

Continua...

Continuação.

Contrastes	Comparações	Vegetativo		Reprodutivo	
		Ovos	Ninfas	Ovos	Ninfas
C23	$(T34+T35+T36)/3 - (T24+T25+...+T28)/5$	0.26 ***	33.62 ***	0.75 ***	+15.24 ***
C24	$(T34+T35+T36)/3 - (T06+T07+T08)/3$	-0.48 ***	1.67 ns	-0.11 ns	+2.11 ns
C25	$T39 - (T24+T25+...+T28)/5$	-0.47 ***	-4.93 ns	0.71 ***	-8.53 *
C26	$T39 - (T32+T33)/2$	-0.62 ***	-2.83 ns	0.69 ***	-5.00 ns

ns: não significativo; *, ** e *** Significativo pelo teste t a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

4.6 DISCUSSÃO

O melhoramento genético moderno do tomateiro tem buscado superar o estreitamento da base genética decorrente da domesticação por meio da incorporação de alelos de espécies silvestres, como *Solanum pennellii*, que oferecem atributos de resistência, firmeza e qualidade nutricional (CALAFIORE et al., 2019; IKEDA et al., 2025; GERAKARI et al., 2024). Essa estratégia é essencial para balancear caracteres de produção e qualidade, uma vez que a seleção intensiva para rendimento, ao longo das últimas décadas, frequentemente penalizou atributos organolépticos e nutricionais (NATALINI et al., 2021). Nos híbridos avaliados neste trabalho, a análise integrada dos componentes de produção reflete a complexidade da arquitetura genética da espécie, em que a seleção simultânea para múltiplos atributos exige compreensão das correlações biométricas e das bases fisiológicas subjacentes (QUINET et al., 2019; WANG, DE MAAGD, 2025).

A expressiva variabilidade observada PC e PT confirma a natureza poligênica desses caracteres, cuja expressão é governada por múltiplos loci e fortemente modulada pela interação genótipo-ambiente (MAURYA et al., 2022; ANYAOHA et al., 2023; LIU et al., 2023), ou seja, o fenótipo é amplamente moldado por fatores externos, como nutrição mineral e regime hídrico, que podem superar a variação puramente genotípica em caracteres de rendimento (CAMPOS et al., 2025). Os maiores valores de produtividade comercial observados nas combinações envolvendo o genótipo BPX-466F-174-01-05-108-05 podem ser explicados por sua constituição genética estratégica, que ao ser combinado com linhagens de desempenho superior como TOM-812, a qual é portadora de genes de resistência a *F(3)* e *Sw-5*, resulta em vigor híbrido maximizado. A complementaridade entre o vigor vegetativo de BPX-466F-174-01-05-108-05 e a sanidade fitossanitária das linhagens de elite permite uma arquitetura de planta mais eficiente na partição de fotoassimilados, sustentando altas cargas de frutos comerciais. Esse resultado está em consonância com estudos que demonstram que o vigor híbrido é vital para maximizar rendimento, especialmente quando os genitores possuem distâncias genéticas significativas (ZEIST et al., 2022; RASHEED et al., 2023).

A grande variação detectada entre os híbridos para NFC evidencia disparidades intrínsecas na força do dreno e na capacidade de pegamento, processos fisiológicos regulados por sinalizações hormonais e pelo desenvolvimento de inflorescências (QUINET et al., 2019; ZANNAT et al., 2023;). Já a ausência de diferença estatística na massa para MMFC, apesar da variabilidade observada, é recorrente em programas de melhoramento que trabalham

com grupos morfológicos fixos, como italiano e saladette (CARVALHO et al., 2025). Nesses casos, a planta tende a redistribuir biomassa para manter o padrão morfológico exigido pelo mercado, resultando em variações que muitas vezes são diluídas pelo erro experimental ou pela homeostase fisiológica entre número de frutos e peso individual. Ainda assim, verificou-se que quanto maior a MMFC, maior o tamanho relativo do fruto, relação fundamentada na taxa de divisão celular precoce e no volume de expansão do mesocarpo, processos coordenados por genes como *fw2.2* e *fw3.2*, que impactam simultaneamente peso e dimensões físicas ao longo dos eixos de crescimento (MAUXION; CHEVALIER, GONZALES, et al., 2021; LIU et al., 2024).

O tamanho e formato do fruto são determinantes cruciais para aceitação industrial e comércio *in natura*. A relação DL/DT superior a 1.5 é o critério taxonômico e comercial para classificação de tomates tipo italiano, garantindo o formato alongado preferido para logística de acondicionamento (LIU et al., 2024; CARVALHO et al., 2025). É importante ressaltar que o tamanho do fruto é altamente sensível à densidade populacional de plantas, pois sob maior adensamento a competição intraespecífica por radiação solar e nutrientes reduz o suprimento de assimilados para cada dreno, resultando em dimensões menores em comparação a sistemas com maior espaçamento (KARPE et al., 2024). Campos et al. (2025) em estudos com o híbrido HMX-7885 observaram que em densidades mais elevadas apresentou maior rendimento por hectare, porém houve efeito decrescente na massa média e no número de frutos por planta. Essa resposta é mediada por sinalizações de sombreamento que alteram o balanço hormonal, priorizando manutenção vegetativa em detrimento da expansão máxima dos tecidos do fruto (ASIRY; HUDA; MOUSA, 2022; KARPE et al., 2024).

A seleção intensiva para aumento de produtividade e tamanho frequentemente penaliza a concentração de açúcares por efeito de diluição hídrica e competição por substratos (HE et al., 2024; KAYIKCI et al., 2026). Valores de °Brix acima de 4.0 são considerados ideais para o mercado, influenciando sabor e eficiência industrial. A identificação de híbridos com teores elevados, como as combinações das linhagens TOM-780 x TOM-811, sugere a presença de alelos favoráveis relacionados ao gene *lin5*, que regula o fluxo de carbono e a força do dreno via invertases de parede celular (LI et al., 2025; KAYIKCI et al., 2026).

Em relação à firmeza dos frutos, os resultados demonstram que o programa de seleção foi bem-sucedido na identificação de materiais com integridade de polpa superior, superando inclusive o desempenho da testemunha comercial Paipai (15,71 N). É fundamental ressaltar que o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716, embora essencial como fonte de açúcares, apresenta frutos naturalmente moles e sem valor comercial para o atributo firmeza.

O foco do melhoramento, portanto, reside em utilizar esses parentais silvestres para elevar a resistência a pragas sem comprometer a qualidade física exigida pelo mercado (GERAKARI et al., 2024). O desempenho superior de genótipos como TOM-724 (17,91 N), TOM-811 (17,78 N) e do híbrido BPX-466F-174-01-05-108-05 $\times$ TOM-700 (17,78 N) evidencia a identificação de linhagens que reúnem características físicas de excelência. A manutenção de polpas mais firmes é um requisito crítico para o tomate do tipo italiano, pois reduz perdas durante o transporte e prolonga a vida de prateleira dos frutos. Biologicamente, a regulação dessa firmeza está ligada a genes como o FIS1, que codifica a GA2-oxidase, cuja expressão promove a deposição de cutina e cera, aumentando a resistência física do fruto (LI et al., 2020; KAYIKCI et al., 2026).

A análise de componentes principais (PCA) consolidou as relações biométricas, com os dois primeiros eixos explicando a maior parte da variância. A forte correlação positiva entre produção total, comercial e NFC confirma que a produtividade depende da quantidade produzida por área e do volume individual (ANYAOHA et al., 2023; ZANNAT et al., 2023). Entretanto, a correlação inversa entre SS e DF revela um conflito biológico fundamental, onde o investimento energético para expansão volumétrica e retenção de água compete com acúmulo de fotoassimilados. Bioquimicamente, isso decorre da competição pelo piruvato, que em frutos grandes é canalizado preferencialmente para expansão celular e síntese de ácidos orgânicos, em detrimento do acúmulo concentrado de açúcares e pigmentos (HE et al., 2024). O posicionamento estratégico da cultivar Paipai próximo às combinações de elite com o acesso BPX-466F-174-01-05-108-05 na PCA valida o potencial comercial desses materiais, em virtude do equilíbrio entre rendimento e qualidade superior.

A expressiva variabilidade fenotípica observada nos parâmetros biológicos de *Bemisia tabaci* reflete interação complexa entre a base genética dos híbridos e os mecanismos constitutivos herdados de fontes silvestres. A menor magnitude dos coeficientes de variação (CV) para ovos, em comparação ao de ninfas, sugere que a oviposição constitui um parâmetro de antixenose mais estável, delimitado primordialmente pela atratividade e escolha inicial do hospedeiro pelo adulto (CRUZ et al., 2026; RAHMAN SHAH et al., 2023). Em contrapartida, os CVs consistentemente mais elevados para ninfas indicam maior heterogeneidade fenotípica, reflexo da alta sensibilidade dos estágios imaturos às oscilações na qualidade nutricional da seiva do floema e às condições microclimáticas durante o seu prolongado período de desenvolvimento (FARINA et al., 2022).

A ampla variação no número de ovos e ninfas na fase vegetativa é relatada em outras pesquisas, evidenciando que genótipos com combinações mais favoráveis de

características de defesa, como menor densidade de tricomas não glandulares e/ou maior proporção de tricomas glandulares produtores de compostos tóxicos ou pegajosos, tendem a receber menos ovos e apresentar menor sobrevivência ninfal (MILLÁN-CHAIDEZ et al., 2020; SHAH et al., 2023; TABARY et al., 2024). Assim, a menor densidade de ninfas observada em TOM-760×TOM-811 e TOM-780×TOM-811, e a redução concomitante no número de ovos em TOM780×TOM811, sugerem expressão precoce de mecanismos de antibiose e/ou antixenose herdados de um dos parentais. Dias et al. (2021) demonstraram que genótipos derivados de *S. pennellii* com altos teores de acilaçúcares apresentam forte redução de oviposição e sobrevivência ninfal de *B. tabaci* em folhas jovens, justamente nas fases em que os tricomas glandulares são mais ativos. De forma análoga, trabalhos com *S. habrochaites* e *S. galapagense* evidenciam que a presença e densidade de tricomas tipo IV, frequentemente associados à produção de acilaçúcares ou sesquiterpenos, reduzem a preferência de postura e aumentam a mortalidade de ovos e ninfas (LI et al., 2023; MANIGAT et al., 2024; TABARY et al., 2024).

Na fase reprodutiva, os genótipos BPX-466F-174-01-05-108-05×TOM-684 e BPX-466F-174-01-05-108-05×TOM-812 mantiveram baixas densidades de ovos e ninfas, indicando que os mecanismos de resistência não se restringem ao estágio vegetativo. A literatura mostra que, em muitos materiais derivados de *S. pennellii* a manutenção de altos teores de acilaçúcares e/ou outros aleloquímicos ao longo do ciclo garante efeito persistente de antibiose, com redução de oviposição, de sobrevivência ninfal e de emergência de adultos, bem como menor incidência de fumagina associada à excreção de *honeydew* (DIAS et al., 2021; PANDEY et al., 2023). O fato de diferentes combinações híbridas (TOM × TOM na fase vegetativa, BPX × TOM na fase reprodutiva) apresentarem desempenho superior sugere que a contribuição genética de cada parental para a expressão de defesas químicas e estruturais pode ser dependente do estágio fenológico, o que está de acordo com evidências de modulação ontogenética da expressão de genes envolvidos em produção de terpenoides, acilaçúcares e compostos fenólicos em tomateiro (LI et al., 2023; MROSSO et al., 2022).

A importância relativa das fases vegetativa e reprodutiva para o impacto da mosca-branca é distinta. Farina et al. (2022) observaram reduções de até 61% de área foliar e 39% de altura em plantas de tomateiro infestadas por *B. tabaci*, evidenciando que danos precoces têm efeito duradouro sobre o vigor vegetativo. A resistência na fase vegetativa protege o potencial de crescimento e formação de área foliar, enquanto a resistência na fase reprodutiva é crítica para a proteção do rendimento e da qualidade dos frutos, bem como para reduzir a disseminação de vírus (FARINA et al., 2022; PANDEY et al., 2023; MANIGAT et al., 2024)

Quanto aos teores de acilacúcares, a transferência desse caráter para os híbridos ocorreu de forma heterogênea, confirmando uma herança multigênica e quantitativa, tipicamente controlada por três ou quatro QTLs específicos que regulam a biossíntese mediada pelas enzimas ASAT nos tricomas (FAN et al., 2019; SMEDA; SMITH, MUTSCHLER, 2023). Além disso, teores mais altos de AA nem sempre garantiram a maior resistência. Isso ocorre porque a eficácia dos acilacúcares depende não apenas da quantidade, mas também da composição química (cadeias acila, ramificação e proporção molecular) e da distribuição nos tricomas (LI et al., 2023; MANIGAT et al., 2024; CRUZ et al. 2026). Diferenças estruturais podem alterar toxicidade, palatabilidade ou aderência sobre o corpo da mosca-branca, modulando antibiose e antixenose. Além disso, outros metabólitos, como fenóis, flavonoides, alcaloides e terpenoides voláteis, atuam de forma sinérgica ou compensatória (PAL et al., 2021; MROSSO et al., 2022), e características morfoanatômicas foliares, como espessura e densidade de tricomas não glandulares, também influenciam o contato do inseto com os exsudatos (MILLÁN-CHAIDEZ et al., 2021; SHAH et al., 2023; TABARY et al., 2024). Por fim, fatores ambientais podem modular a expressão de genes das vias de acilacúcares e jasmonato, alterando sua efetividade ao longo do ciclo (LI et al., 2023). Assim, a resistência não se correlaciona de forma linear com o teor de AA, mas resulta de um complexo multifatorial.

A Análise de Componentes Principais (PCA) consolidou essas interações, com os dois primeiros componentes explicando 80,29% da variação total. A forte associação inversa entre os parâmetros de sobrevivência/reprodução e o teor de acilacúcar reafirma este metabólito como o principal modulador da resistência no germoplasma avaliado. Observou-se, contudo, que a ordem dos parentais exerceu influência decisiva nos resultados, pois os híbridos de elite tiveram TOM-811 ou TOM-812 como doadores de pólen. Biologicamente, as observações indicam que esses genitores masculinos transmitiram o caráter de forma robusta, elevando o desempenho dos híbridos mesmo quando cruzados com genitoras vulneráveis (como o TOM 795), evitando a queda na classe de maior suscetibilidade. Esse fenômeno encontra sustentação biológica na ocorrência de efeitos recíprocos, possivelmente mediados por herança citoplasmática, efeitos maternos ou *imprinting* genômico, nos quais a direção do cruzamento altera a expressão de genes de defesa e a qualidade dos metabólitos sintetizados nos tricomas (FORTUNY et al., 2021; GIMENEZ et al., 2021).

Em tomate, já foi demonstrado que a herança de densidade de tricoma tipo IV e sua associação com resistência à mosca-branca possui componentes aditivos importantes, mas também efeitos de dominância e, em alguns casos, influência da linhagem utilizada como parental feminino (MANIGAT et al., 2024). Em suma, a resistência integrada nestes materiais

resulta de uma arquitetura multifatorial, onde a concentração de acilaçúcares, sua qualidade química específica e a combinação estratégica dos genitores atuam sinergicamente para suprimir a praga.

A análise dos contrastes consolida, em nível fisiológico e genético, a condição de acilaçúcares em homozigose como principal determinante da resistência a *B. tabaci* em tomateiro, enquanto os genes *Mi* e *Ty-1* atuam predominantemente como moduladores secundários, corroborando resultados que demonstram a superioridade de aleloquímicos derivados de *S. pennellii* em relação a genes de resistência para pragas sugadoras (NOMBELA et al., 2000; SILVA et al., 2009; NEIVA et al., 2019; DIAS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2023).

A elevada resistência do acesso silvestre, bem como dos genótipos com altos teores de acilaçúcares, reflete a existência de uma concentração crítica foliar abaixo da qual a barreira defensiva torna-se instável; apenas teores elevados, tipicamente garantidos pela homozigose de QTLs específicos de *S. pennellii*, são capazes de promover reduções drásticas na oviposição e na sobrevivência de artrópodes (NOMBELA et al., 2000; SILVA et al., 2009; DIAS et al., 2021; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023). Essa dinâmica evidencia que, mesmo em combinações complexas, os contrastes indicam que a presença de acilaçúcares em homozigose permanece como a condição necessária e suficiente para assegurar resistência elevada e estável, enquanto a piramidação sem manutenção da carga alélica completa para acilaçúcares resulta em respostas inconsistentes.

Os resultados relativos ao gene *Mi* confirmam que sua contribuição à resistência contra *Bemisia tabaci* é apenas parcial quando não está associada a altos teores de aleloquímicos. Ensaios comparativos demonstram que genótipos portadores de *Mi*, mas com baixos níveis de acilaçúcares e zingibereno, apresentam antixenose e antibiose moderadas, inferiores às respostas observadas em materiais ricos nesses compostos, seja isoladamente ou em combinação (NOMBELA et al., 2000; GOUVEIA et al., 2018; NEIVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2023). Essa diferença de magnitude foi também registrada por Oliveira et al. (2023), ao comparar linhas com elevados teores de acilaçúcares e zingibereno com a testemunha contendo apenas *Mi*, evidenciando que o gene isolado gera efeitos discretos, sobretudo sobre a oviposição inicial, mas não sustenta reduções expressivas no desenvolvimento de ninfas ao longo do ciclo.

Do ponto de vista funcional, a instabilidade da resistência mediada pelo gene *Mi* frente à mosca-branca pode ser explicada principalmente por sua conhecida sensibilidade térmica e pelas diferenças de contexto entre interações com nematoides e com insetos

sugadores. Em raízes, onde a resistência contra *Meloidogyne* spp. é expressa, o ambiente é termicamente mais estável e a sinalização via ácido salicílico predomina. Já em folhas, a alimentação de *Bemisia tabaci* ocorre no floema, em um cenário marcado pela interferência entre as vias de ácido salicílico, ácido jasmônico e etileno, além da modulação direta exercida pelo próprio inseto vetor (PASCUAL et al., 2025; NOMBELA et al., 2000). Essa distinção é crítica porque o *Mi-1* perde eficácia contra nematoides em temperaturas de 28–32 °C, com comprometimento da ativação das vias de defesa dependentes de ácido salicílico e consequente colapso do fenótipo de resistência (NOMBELA et al., 2000). Considerando que *B. tabaci* frequentemente se desenvolve em condições de maior estresse térmico, seja em campo durante períodos quentes ou em ambientes protegidos, é plausível que essa termossensibilidade contribua para o padrão de resistência parcial e pouco durável detectado nos contrastes, sobretudo na fase reprodutiva.

Análises transcriptômicas mostram que a resposta associada ao gene *Mi* contra *Bemisia tabaci* é tardia e se intensifica apenas em estádios avançados de infestação. Em plantas *Mi+*, a reprogramação gênica é mais ampla que em suscetíveis, mas torna-se marcante somente após 12 dias, envolvendo centenas de transcritos ligados à sinalização, fatores de transcrição, proteínas de patogênese, proteínas de choque térmico (HSPs) e remodelamento da parede celular (PASCUAL et al., 2025). Isso indica que, em interações foliares com insetos sugadores, o *Mi* não desencadeia uma defesa rápida e robusta como ocorre em raízes contra nematoides, o que se traduz em efeitos iniciais modestos sobre ovos e incapacidade de manter antibiose consistente sobre ninfas, sobretudo na ausência de barreiras físico-químicas baseadas em acilaçúcares.

Quando o gene *Mi* é combinado a acilaçúcares, observa-se um padrão de complementaridade. Híbridos ricos em acilaçúcares portadores de *Mi* apresentam menor oviposição e número de ninfas do que genótipos com apenas um dos mecanismos (GOUVEIA et al., 2018), o que confirma a interação aditiva descrita nos contrastes. Ainda assim, a eficácia depende da alta carga alélica de acilaçúcares. Por outro lado, quando a piramidação inclui *Mi*, *Ty-1* e acilaçúcares em heterozigose, a eficiência tende a ser limitada, pois os genes *Ty* tendem a expressar resistência máxima em homozigose (REZENDE et al., 2020). Dessa forma, o desempenho inferior da piramidação tripla em heterozigose pode ser explicado pela dosagem alélica subótima e pela sobreposição de vias de defesa que não resultam em efeito somatório sobre a mosca-branca.

Os resultados referentes a *Ty-1* confirmam seu papel mais direto na resistência a vírus do que na modulação da biologia do vetor. Em experimentos com ToYVSV,

Ty-1 em homozigose reduz de forma consistente a severidade dos sintomas e a área sob a curva de progresso da doença, especialmente quando combinado a outros *Ty*, mas sua influência direta sobre parâmetros de *B. tabaci* é limitada (REZENDE et al., 2020). Isso está de acordo com os contrastes envolvendo *Mi* e *Ty-1*, nos quais há redução de ninfas em certos estádios, mas também aumento de oviposição. O resultado é um efeito misto, com algum controle sobre o desenvolvimento do inseto, possivelmente ligado à qualidade do floema e ao estado fisiológico da planta, porém sem a antixenose robusta conferida pelos acilaçúcares.

No caso do zingibereno, os resultados obtidos são consistentes com estudos que mostram reduções significativas em ovos e ninfas de *B. tabaci* em genótipos com altos teores desse aleloquímico, em níveis comparáveis aos conferidos por acilaçúcares isoladamente (SILVA et al., 2009; NEIVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2023). Quando ambos estão presentes, diversos trabalhos relatam sinergismo, com resistência superior à de genótipos que possuem apenas um dos compostos (NEIVA et al., 2019; OLIVEIRA et al., 2023). Entretanto, Silva et al. (2009) observaram que em duplos heterozigotos o efeito tende a ser apenas aditivo ou intermediário, sem sinergismo claro. Essa variabilidade explica os contrastes em que a combinação acilaçúcares + zingibereno não amplia de forma consistente a resistência em relação aos acilaçúcares isolados e, em alguns casos, até se associa a maior oviposição. Alterações na composição dos exsudatos e custos fisiológicos de manter altos níveis de ambos os aleloquímicos podem modificar a atratividade inicial sem intensificar a antibiose sobre ninfas, resultando em respostas não lineares.

Essas observações convergem para uma interpretação em que os mecanismos de resistência baseados em aleloquímicos (acilaçúcares e zingibereno) atuam predominantemente na interface planta-inseto, via antixenose e antibiose diretas, enquanto *Mi* e *Ty-1* incidem em níveis mais internos, modulando vias de sinalização de defesa e a interação planta-patógeno/vetor (REZENDE et al., 2020; DIAS et al., 2021; OLIVEIRA et al., 2023; PASCUAL et al., 2025). Assim, em genótipos com altos teores de acilaçúcares em homozigose, o principal gargalo ecológico para *B. tabaci* passa a ser a barreira físico-química imposta pelos exsudatos, e a contribuição adicional de *Mi* e *Ty-1* tende a ser marginal ou restrita a contextos específicos (por exemplo, presença concomitante de vírus). Nas combinações em que a carga alélica de acilaçúcares é reduzida (heterozigose ou piramidações parciais), tentar compensar com maior número de genes de resistência não resulta, necessariamente, em aumento proporcional da resistência à mosca-branca, em virtude de epistasia, custo energético e saturação de vias de sinalização (MARCHANT et al., 2020; REZENDE et al., 2020). Esses elementos reforçam a recomendação de que programas de melhoramento voltados à resistência

à *B. tabaci* priorizem a fixação da homozigose para acilaçúcares em níveis elevados, utilizando *Mi* e *Ty-1* como elementos de suporte, sobretudo em cenários com pressão simultânea de nematoides e viroses.

4.7 CONCLUSÕES

A avaliação integrada de produtividade, qualidade e resistência à mosca-branca evidenciou genótipos experimentais superiores ao híbrido comercial Paipai, conciliando alto rendimento, padrão morfológico adequado e atributos industriais desejáveis. A homozigose para acilaçúcares confirmou-se como o principal eixo da resistência a *Bemisia tabaci*, enquanto *Mi* e *Ty-1* atuaram como moduladores secundários. Entre os materiais avaliados, destacam-se os híbridos derivados de BPX-466F-174-01-05-108-05, além de combinações envolvendo TOM-760, TOM-777, TOM-780, TOM-811 e TOM-812, que reuniram desempenho agrônomo elevado e resistência consistente. Esses resultados reforçam o potencial desses genótipos como candidatos prioritários para avanço em programas de melhoramento de tomateiro italiano, visando produtividade, qualidade e proteção durável contra a mosca-branca.

4.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANYAOHA, C. O. et al. Genetic variability in nutritional quality, yield and yield attributes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis**, v. 71, n. 2, p. 97-112, 2023.
- ASIRY, K. A.; HUDA, M. N.; MOUSA, M. A. A. Abundance and population dynamics of the key insect pests and agronomic traits of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) varieties under different planting densities as a sustainable pest control method. **Horticulturae**, v. 8, n. 10, 976, 2022.
- BRASIL. **Portaria nº 553, de 15 de setembro de 1995**. Sistema Integrado de Legislação, 1995.
- CALAFIORE, R. et al. Phenotypic and molecular selection of a superior *Solanum pennellii* introgression sub-line suitable for improving quality traits of cultivated tomatoes. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 190, 2019.
- CAMPOS, C. M. de A. et al. Plant density and planting arrangement for tomato plants of determinate growth. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 1, e278914, 2025.
- CARVALHO, J. L. B. et al. Genetic dissimilarity and phenology of tomato plants based on physical and morpho-agronomic descriptors. **European Journal of Horticultural Science**, v. 90, n. 1, 0021, 2025.

CAVASIN, Pedro Yuri et al. Evaluation of families derived from backcrosses of processed tomato with dwarfism gene. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 21, n. 1, p. e362221113, 2021.

CRUZ, V. H. M. M. et al. Tomato secondary metabolites as natural regulators of *Bemisia tabaci* behavior and performance: current applicability and prospects. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, 1704832, 2026.

DIAS, D. M. et al. Acylsugars in tomato varieties confer resistance to the whitefly and reduce the spread of fumagine. **Bragantia**, v. 80, p. e4421, 2021.

DINIZ, F. C. P. et al. Development of BC₃F₂ tomato genotypes with arthropod resistance introgressed from *Solanum habrochaites* var. *hirsutum* (PI127826). **Horticulturae**, 2022.

FIALLO-OLIVÉ, Elvira; NAVAS-CASTILLO, Jesús. Begomoviruses: what is the secret (s) of their success?. **Trends in Plant Science**, v. 28, n. 6, p. 715-727, 2023.

FORTES, I. M.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R.; MORIONES, E. Host plant resistance to *Bemisia tabaci* to control damage caused in tomato plants by the emerging crinivirus tomato chlorosis virus. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 585510, 2020.

FORTUNY, Agustina P. et al. Tomato fruit quality traits and metabolite content are affected by reciprocal crosses and heterosis. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 15, p. 5407-5425, 2021.

GERAKARI, M. et al. Evaluation of the potential use of wild relatives of tomato (*Solanum pennellii*) to improve yield and fruit quality under low-input and high-salinity cultivation conditions. **Agronomy**, v. 14, n. 12, 3042, 2024.

GIMENEZ, M. D. et al. Fruit quality and DNA methylation are affected by parental order in reciprocal crosses of tomato. **Plant Cell Reports**, v. 40, n. 1, p. 171-186, 2021.

GOUVEIA, B. et al. Resistance to whitefly (*Bemisia argentifolii*) and repellency to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in tomato plant hybrids with high leaf contents of acylsugar and the Mi gene. **Euphytica**, v. 214, p. 1-9, 2018.

HOROWITZ, A. Rami et al. Insecticide resistance and its management in *Bemisia tabaci* species. **Journal of Pest Science**, v. 93, n. 3, p. 893-910, 2020.

IKEDA, H.; Tabei, A.; YAMANE, K. Advances in understanding tomato fruit development and quality using *Solanum pennellii* introgression lines. **The Horticulture Journal**, 2025

KARPE, M. et al. Dynamic plant spacing in tomato results in high yields while mitigating the reduction in fruit quality associated with high planting densities. **Frontiers in Plant Science**, v. 15, 1386950, 2024.

KAUSHAL, Ashish et al. Assessment of the effectiveness of Ty genes in tomato against Tomato leaf curl Bangalore virus. **Plant Pathology**, v. 69, n. 9, p. 1777-1786, 2020.

KAVALLIERATOS, Nickolas G. et al. Integrated management system of the whitefly *Bemisia tabaci*: a review. **Entomologia Generalis**, v. 44, n. 5, p. 1117-1133, 2024.

KAYIKCI, H. C. et al. Association mapping of tomato fruit quality for weight, firmness, brix, and color using GWAS. **BMC Plant Biology**, v. 26, n. 41, 2026.

KOEDA, S. et al. Resistance to the insect vector *Bemisia tabaci* enhances the robustness and durability of tomato yellow leaf curl virus resistance conferred by *Ty-1*. **Plant Disease**, 2024.

KUBOND, B. A.; ST. CLAIR, Dina A. Bin mapping of water stress tolerance-related, fruit quality, and horticultural traits in tomato introgression lines derived from wild *Solanum habrochaites*. **Crop Science**, v. 63, n. 2, p. 568-584, 2023.

LARACH, J. O. I. et al. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. p. 250, 1984.

LENTH, R. V. **Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package version 2.0.1, 2025.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, p. 1-18, 2008.

LI, D. et al. Plant resistance against whitefly and its engineering. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 1232735, 2023.

LI, F. et al. Development of molecular markers for total soluble solids in tomato fruits. **Scientia Horticulturae**, v. 344, 114111, 2025.

LI, R. et al. FIS1 encodes a GA2-oxidase that regulates fruit firmness in tomato. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 5844, 2020.

LIU, J. et al. Genetic Regulation of Fruit Shape in Horticultural Crops: A Review. **Horticulturae**, v. 10, n. 11, 1151, 2024.

LIU, Z.; JIANG, J.; LI, J. GWAS characterization of the genetic regions associated with nine important agronomic traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Agronomy**, v. 13, n. 5, 1191, 2023.

LU, Ding-Yi-Hui et al. Co-infection of TYLCV and ToCV increases cathepsin B and promotes ToCV transmission by *Bemisia tabaci* MED. **Frontiers in Microbiology**, v. 14, p. 1107038, 2023.

MANIGAT, D. et al. Associational Resistance Using Wild and Commercial Tomato Genotypes Employed in the Management of Tomato Virus Vectors. **Agriculture**, v. 14, n. 1, 98, 2024.

MARCHANT, W. G. et al. Evaluating Acylsugars-Mediated Resistance in Tomato against *Bemisia tabaci* and Transmission of Tomato Yellow Leaf Curl Virus. **Insects**, v. 11, n. 12, 842, 2020.

MAURYA, D. et al. Genetic variability and character association in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Bangladesh Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 747-757, 2022.

MAUXION, J. P. et al. Complex cellular and molecular events determining fruit size. **Trends in Plant Science**, v. 26, n. 10, p. 1023–1038, 2021.

MENDIBURU, F. **Agricolae: Statistical procedures for agricultural research**. R package version 1.3-7, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=agricolae>.

MILLÁN-CHAIDEZ, R. et al. Resistance to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) Mediterranean (Q Biotype) in Landrace and Wild Tomato Populations from Mexico. **Florida Entomologist**, v. 103, n. 4, p. 472-478, 2020.

MROSSO, S. E. et al. Characterization of Secondary Metabolites Responsible for the Resistance of Local Tomato Accessions to Whitefly (*Bemisia tabaci*, Gennadius 1889) Hemiptera in Tanzania. **Crops**, v. 2, n. 4, p. 445-460, 2022.

MUTSCHLER, M. A.; KENNEDY, G. G.; ULLMAN, D. E. Acylsugar-mediated resistance as part of a multilayered defense against thrips, orthotospoviruses, and beyond. **Current Opinion in Insect Science**, v. 56, p. 101021, 2023.

NATALINI, A. et al. Breeding for nutritional and organoleptic quality in vegetable crops: the case of tomato and cauliflower. **Agriculture**, v. 11, n. 7, 606, 2021.

NEIVA, I. et al. Tomato genotype resistance to whitefly mediated by allelochemicals and Mi gene. **Chilean journal of agricultural research**, 2019.

NELSON, N. A Photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375–380, 1 maio 1944.

NITSCHKE, P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOMBELA, G. et al. Variation in tomato host response to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in relation to acyl sugar content and presence of the nematode and potato aphid resistance gene *Mi*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 90, p. 161–167, 2000.

OLIVEIRA, C.; MALUF, W.; ANDRADE, T.; MENINO, G.; AZEVEDO, A. Resistance to whitefly mediated by the Mi gene, acylsugars, and zingiberene in tomato. **Comunicata Scientiae**, 2023.

PANDEY, S. et al. Acylsugar tomato lines suppress whiteflies and *Amblyseius swirskii* establishment. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 171, p. 745-753, 2023.

PASCUAL, S. et al. Hsp90 gene is required for Mi-1-mediated resistance of tomato to the whitefly *Bemisia tabaci*. **Plants**, v. 12, n. 3, p. 641, 2023.

PASCUAL, S. et al. Over Time Changes in the Transcriptomic Profiles of Tomato Plants with or Without Mi-1 Gene During Their Incompatible or Compatible Interactions with the Whitefly *Bemisia tabaci*. **Plants**, v. 14, 2025.

QUINET, M. et al. Tomato fruit development and metabolism. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 1554, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Version 4.5.2, 2025.

RAHMAN SHAH, M. M. et al. Impact of leaf trichomes of tomatoes and weeds on the host selection and developmental bioassays of *Bemisia tabaci* Q and A cryptic species. **Heliyon**, v. 9, e20077, 2023.

RASHEED, A. et al. Study of genetic variability, heritability, and genetic advance for yield-related traits in tomato (*Solanum lycopersicon* MILL.). **Frontiers in Genetics**, v. 13, 1030309, 2023.

RESENDE, J. T. V. et al. Inheritance of acylsugar contents in tomatoes derived from an interspecific cross with the wild tomato *Lycopersicon pennellii* and their effect on spider mite repellence. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 1, p. 106-116, 2002.

RESENDE, J. T. V. et al. Acylsugar content and insect resistance in tomato genotypes for processing. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, p. 1–8, 2021.

REZENDE, J. et al. The reaction of tomato genotypes to whitefly-transmitted ToYVSV influenced by allelochemicals and the genes Mi, *Ty-1*, *Ty-2*, and *Ty-3/Ty-4*. **Scientia Horticulturae**, v. 270, 109428, 2020.

RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, C. I.; MUÑIZ, M.; NOMBELA, G. Effect of plant development (age and size) on the Mi-1-mediated resistance of tomato to whitefly *Bemisia tabaci*. **Bulletin of Entomological Research**, v. 107, n. 6, p. 768-776, 2017.

SHI, X. et al. Transmission efficiency, preference and behavior of *Bemisia tabaci* MEAM1 and MED under the influence of Tomato chlorosis virus. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, p. 2271, 2018.

SILVA, V. F. et al. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, p. 1262-1269, 2009.

SMEDA, J. R. et al. Combination of Acylglucose QTL reveals additive and epistatic genetic interactions and impacts insect oviposition and virus infection. **Molecular breeding**, v. 38, n. 1, p. 3, 2018.

SMEDA, J. R.; SMITH, H. A.; MUTSCHLER, M. A. The amount and chemistry of acylsugars affects sweetpotato whitefly (*Bemisia tabaci*) oviposition and development, and tomato yellow leaf curl virus incidence, in field grown tomato plants. **Plos one**, v. 18, n. 11, p. e0275112, 2023.

TABARY, L. et al. Tomato trichomes: trade-off between plant defenses against pests and benefits for biological control agents. **Acarologia**, v. 64, n. 4, p. 1232-1253, 2024.

VARGAS-ORTIZ, Erandi et al. Genetic mapping identifies loci that influence tomato resistance against Colorado potato beetles. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 7429, 2018.

WANG, R.; DE MAAGD, R. A. Transcriptional control of tomato fruit development and ripening. **Journal of Experimental Botany**, v. 76, n. 21, p. 6311-6326, 2025.

ZANNAT, A. et al. Exploring genotypic variability and interrelationships among growth, yield, and quality characteristics in diverse tomato genotypes. **Heliyon**, v. 9, e18958, 2023.

ZEIST, A. R. et al. Genetic divergence among wild and hybrid tomato accessions based on morphoagronomic and physiological traits. **Horticultura Brasileira**, v. 40, p. 326-333, 2022.

5. ARTIGO B: Acilaçúcares em linhagens e híbridos experimentais de tomateiro italiano e sua relação com a resistência à *Tetranychus urticae* e à *Tuta absoluta*.

5.1 RESUMO

A domesticação e o melhoramento intensivo do tomateiro para produtividade reduziram a base genética de resistência aumentando a vulnerabilidade ao *Tetranychus urticae* e *Tuta absoluta*, pressionando o controle químico e favorecendo populações multirresistentes. O objetivo do trabalho foi selecionar genótipos com resistência multifatorial ao ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e à traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*), a partir da introgressão de acilaçúcares de *Solanum pennellii*. Foram avaliados 42 genótipos (13 linhagens, 27 híbridos F₁, a cultivar Paipai e o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716) em casa de vegetação, quantificando teor foliar de acilaçúcares, parâmetros biológicos de *T. urticae* em bioensaio sem chance de escolha (adultos vivos/mortos, ovos, eclosão 96 e 120 h) e oviposição e danos de *T. absoluta* em plantas inteiras, com notas visuais e percentagem de folíolos atacados. Os dados foram submetidos a análise de variância, agrupamento Scott-Knott, análise de componentes principais (PCA) e contrastes para *Mi*, acilaçúcares e zingibereno. Foi observada ampla variabilidade entre os genótipos para teores de acilaçúcares e para todos os parâmetros de resistência. Os contrastes indicaram que a homozigose para acilaçúcares foi o fator mais determinante, reduzindo fortemente ácaros vivos, oviposição, eclosão e notas de dano, enquanto *Mi* isolado exerceu efeito apenas parcial e o zingibereno atuou como coadjuvante, sobretudo em combinação com acilaçúcares. BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811, BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812, TOM-760 × TOM-811, TOM-780 × TOM-811 e TOM-723 × TOM-812 apresentaram teores elevados de acilaçúcares, baixas médias de ácaros vivos, ovos, oviposição e menores notas de dano para ambas as pragas, superando Paipai e linhagens suscetíveis e configurando materiais prioritários para programas de tomateiro italiano com resistência múltipla baseada em acilaçúcares.

Palavras-chave: *S. lycopersicum*, *S. pennellii*, mosca-branca, traça-do-tomateiro, aleloquímicos.

5.2 ABSTRACT

Intensive breeding of Italian-type tomato focused on yield has reduced the genetic basis of resistance and increased vulnerability to *Tetranychus urticae* and *Tuta absoluta*, putting pressure on chemical control and favoring multi-resistant populations. This study aimed to select genotypes with multifactorial resistance to the two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) and the tomato leaf miner (*Tuta absoluta*), through introgression of acylsugars from *Solanum pennellii*. Forty-two genotypes (13 lines, 27 F1 hybrids, the cultivar Paipai and the wild accession *S. pennellii* LA-716) were evaluated in a greenhouse, quantifying leaf acylsugar content, biological parameters of *T. urticae* in a no-choice bioassay (live/dead adults, eggs, hatch at 96 and 120 h) and oviposition and damage by *T. absoluta* on whole plants, using visual scores and percentage of attacked leaflets. Data were subjected to analysis of variance, Scott–Knott clustering, principal component analysis (PCA) and contrasts for *Mi*, acylsugars and zingiberene. Wide variability among genotypes was observed for acylsugar levels and for all resistance parameters. Contrasts indicated that homozygosity for acylsugars was the most determinant factor, strongly reducing live mites, oviposition, egg hatch and damage scores, whereas *Mi* alone had only partial effects and zingiberene acted as a co-adjuvant, especially in combination with acylsugars. Hybrids BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811, BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812, TOM-760 × TOM-811, TOM-780 × TOM-811 and TOM-723 × TOM-812 showed high acylsugar contents, low means for live mites, eggs, oviposition and lower damage scores for both pests, outperforming Paipai and susceptible lines and thus representing priority materials for Italian-type tomato breeding programs targeting multiple resistance based on acylsugars.

Key-words: *S. lycopersicum*, *S. pennellii*, whitefly, tomato leafminer, allelochemicals.

5.3 INTRODUÇÃO

A domesticação do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) promoveu avanços significativos em produtividade, uniformidade e qualidade de frutos, mas também resultou na perda de atributos de resistência presentes em espécies silvestres, o que evidencia um forte gargalo genético em cultivares modernos (TAMBURINO et al., 2020). Essa erosão genética tornou cultivares comerciais altamente suscetíveis a pragas como o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae* Koch) e a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick), cujas infestações recorrentes têm provocado perdas econômicas expressivas e impulsionado o uso intensivo de defensivos químicos em sistemas de cultivo intensivo (ZANIN et al., 2018; DINIZ et al., 2022). A plasticidade ecológica dessas pragas, aliada à rápida adaptação a diferentes ambientes e ao histórico de resistência a inseticidas e acaricidas, evidencia o esgotamento do modelo químico de controle (ZHANG et al., 2025).

Tetranychus urticae é reconhecido por sua capacidade de desenvolver resistência a praticamente todas as principais classes de acaricidas, com populações de campo exibindo resistência múltipla e altos níveis de ineficácia de ingredientes ativos (ZHANG et al., 2025). Sua alta fecundidade, ciclo de vida curto e reprodução por partenogênese favorecem explosões populacionais em ambientes agrícolas, especialmente quando o uso de pesticidas elimina inimigos naturais (GUAN et al., 2025). A *Tuta absoluta*, desde sua disseminação fora da América do Sul, tornou-se uma praga global do tomateiro, capaz de causar perdas severas em cultivos não protegidos e de desenvolver resistência a diferentes grupos químicos (DINIZ et al., 2022; MAHMOUD et al., 2022; KUMAR et al., 2024). Sua capacidade de atacar folhas, brotos, flores e frutos, aliada à resistência cruzada, compromete a eficácia do controle convencional e exige soluções mais duráveis e ambientalmente responsáveis (DINIZ et al., 2022; MAHMOUD et al., 2022).

Nesse cenário, a retomada de mecanismos de defesa vegetal emerge como alternativa estratégica, especialmente aqueles mediados por estruturas epidérmicas especializadas e compostos naturais. Os tricomas glandulares do tipo IV, presentes em acessos silvestres como *S. pennellii*, *S. galapagense* e *S. habrochaites*, são responsáveis pela síntese de acilaçúcares e sesquiterpenos, metabólitos com ação antixenótica e antibiótica contra diversos artrópodes herbívoros (MACIEL et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018a; VENDEMIATTI et al., 2020, 2021). Em acessos resistentes a *T. absoluta*, a maior abundância de tricomas e o aumento dos teores de acilaçúcares e zingibereno estão associados à redução na oviposição, penetração larval e desenvolvimento do inseto (MAHMOUD et al., 2022). De forma semelhante, genótipos

com altos teores de zingibereno e elevada densidade de tricomas IV e VI apresentam forte repelência e efeitos deletérios sobre o comportamento e a biologia de *T. urticae* (OLIVEIRA et al., 2018a; OLIVEIRA et al., 2020; DINIZ et al., 2022). Estudos com acessos silvestres e genótipos retrocruzados demonstram que altos teores de acilaçúcares e/ou zingibereno estão associados à redução significativa na infestação por *T. urticae* e *T. absoluta*, evidenciando o potencial desses compostos como barreiras químicas eficazes (ZANIN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020; DINIZ et al., 2022; MAHMOUD et al., 2022).

Além da ação direta sobre os herbívoros, os acilaçúcares apresentam vantagens agrônômicas por serem compostos estáveis, não voláteis e de baixa toxicidade para organismos não alvo. Sua produção é determinada geneticamente e pode ser selecionada em programas de melhoramento clássico, com base na densidade de tricomas glandulares e na quantificação bioquímica dos compostos (MACIEL et al., 2018; VENDEMIATTI et al., 2021, 2022). No entanto, a maioria das pesquisas concentra-se em materiais do tipo salada, negligenciando genótipos do tipo italiano, grupo de grande relevância para a indústria de processamento, cujos frutos apresentam formato alongado, elevada firmeza e alto teor de sólidos solúveis (OLIVEIRA et al., 2020; RESENDE et al., 2021).

A escassez de informações sobre a variabilidade genética desses compostos em linhagens e híbridos experimentais limita o avanço de programas de melhoramento voltados à resistência múltipla, especialmente em ambientes tropicais e subtropicais onde *T. urticae* e *T. absoluta* ocorrem de forma concomitante (OLIVEIRA et al., 2020; DINIZ et al., 2022). Além disso, a expressão da resistência mediada por acilaçúcares pode variar em função das condições edafoclimáticas, exigindo validações em campo para garantir a estabilidade do caráter em diferentes ambientes (ZANIN et al., 2018; VENDEMIATTI et al., 2021). A ausência de estudos que avaliem simultaneamente a resposta das plantas frente a essas duas pragas representa uma lacuna crítica, considerando que o manejo integrado exige cultivares com respostas combinadas e duráveis.

Pesquisas indicam que a indução de resistência por compostos como ácido salicílico pode modular a produção de acilaçúcares e conferir proteção cruzada contra múltiplos artrópodes, reforçando a importância de se compreender a base bioquímica da resistência em genótipos promissores (GUAN et al., 2025; MAHMOUD et al., 2025). Além disso, estudos com cultivares contrastantes demonstram que a produção de compostos voláteis e metabólitos secundários está diretamente associada à resistência a *Tuta absoluta*, evidenciando que a resistência é multifatorial e pode ser explorada por meio da seleção de caracteres morfológicos e químicos (WANG; PARK, GUTENSOHN, 2020; MAHMOUD et al., 2024; MAHMOUD et

al., 2025).

Nesse contexto, estratégias modernas de melhoramento têm buscado combinar o uso do gene *Mi* com aleloquímicos foliares, sobretudo acilaçúcares e zingibereno, para ampliar o espectro e a durabilidade da resistência. Estudos com híbridos experimentais portadores de *Mi* e com diferentes níveis de acilaçúcares mostram que o *Mi* é efetivo contra moscas-brancas, mas pouco eficiente frente ao ácaro-rajado, enquanto altos teores de acilaçúcares aumentam a repelência e reduzem a colonização por *T. urticae* (GOUVEIA et al., 2018). Ensaio de repelência indicam ainda que, quando acilaçúcares e zingibereno são combinados em um mesmo genótipo, ocorre um efeito sinérgico, resultando em níveis superiores de resistência ao ácaro-rajado em comparação a materiais que possuem apenas *Mi* ou apenas um dos aleloquímicos (OLIVEIRA et al., 2018b). Assim, a piramidação de *Mi*, acilaçúcares e zingibereno em genótipos de tomateiro tipo italiano representa uma abordagem promissora para o desenvolvimento de cultivares com resistência múltipla e maior sustentabilidade em sistemas de manejo integrado de pragas (OLIVEIRA et al., 2018b; GOUVEIA et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020; DINIZ et al., 2022;).

Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo identificar híbridos experimentais de tomateiro do tipo italiano com alto teor de acilaçúcares e avaliar sua relação com a resistência ao ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e à traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta*) e comparar com a combinação com o gene *Mi* e o zingibereno.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

5.4.1 Local dos Experimentos

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação na Fazenda Escola (FAZESC) e as avaliações foram realizadas no Laboratório de Horticultura (LabHor), ambas instalações pertencem à Universidade Estadual de Londrina – UEL (latitude 23°20'24"S, longitude 51°12'36"O e altitude de 544 m). De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo subtropical úmido (Cfa), com temperatura e precipitação média anual de 22°C e 1.800 mm, respectivamente. Durante o verão, as temperaturas ultrapassam 30°C e a pluviosidade varia entre 500 e 600 mm (NITSCHKE et al., 2019). O solo da região é classificado como Latossolo Roxo Eutrófico de textura argilosa (LARACH et al., 1984). Os experimentos foram realizados nos anos de 2022 e 2023, sendo primeiro ano para instalação e desenvolvimento dos genótipos e o segundo ano para as coletas e avaliações.

5.4.2 Obtenção e caracterização do material vegetal

Foram avaliados 42 genótipos, sendo 27 híbridos F₁ obtidos a partir de cruzamentos entre 13 linhagens avançadas (derivadas de cruzamentos entre *Solanum lycopersicum* e *Solanum pennellii* LA-716), o híbrido Paipai como controle comercial (Enza Zaden) e o acesso silvestre *Solanum pennellii* LA716 como padrão de resistência (Tabela 8).

As linhagens são provenientes do programa de melhoramento genético de tomateiro da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, que desenvolve projetos de pesquisa em parceria com a Universidade Estadual de Londrina.

Tabela 8 – Linhagens e híbrido comercial utilizados nos experimentos e suas respectivas características morfológicas e constituições genótípicas.

Genótipo	Descrição			
	Hábito de crescimento	Formato de fruto	Resistência	Background genético
TOM-684	Indeterminado	Bônus	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-700	Indeterminado	Saladette	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-723	Indeterminado	Andrea	-	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-724	Indeterminado	Saladette	Mi	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-760	Indeterminado	Italiano	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-768	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
TOM-777	Indeterminado	Italiano	V, F (1), Sm, Mi, Pto, Sw-5	-
TOM-780	Indeterminado	Italiano	-	-
TOM-795	Indeterminado	Italiano	Mi	-
TOM-804	Indeterminado	Bônus	Mi	<i>og^c / nor^a</i>
TOM-811	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
TOM-812	Determinado	Italiano	F (3) e Sw-5	<i>og^c</i>
BPX-466E-174-01-05-108-05	Indeterminado	Saladette	-	-
Cultivar Paipai	Indeterminado	Saladette	Mi e Sw-5	-

Legenda: V= *Verticillium*; F (1) = *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* raça 1 (gene *I*); F (3) = *Fusarium oxysporum* f.sp.*lycopersici* raça 3 (gene *I3*); Mi = *Meloidogyne incognita* & *M.javanica* (gene *Mi*); Sm = *Stemphylium solani* (gene *Sm*); Pto = *Pseudomonas syringae* pv. tomato (gene *Pto*); Sw-5 = *tomspovirus* (vira-cabeça) (gene *Sw-5*); Alcobaça = *nor^a*; old gold crimson = *og^c*. Fonte: Autor (2026).

5.4.3 Cruzamentos e Obtenção dos Híbridos F₁

As 13 linhagens foram semeadas em bandejas de polipropileno, contendo 50 células, preenchidas com substrato comercial Carolina Soil® composto por turfa, perlita, vermiculita e casca de arroz torrefada, e mantidas em estufa com temperatura média de 25°C e umidade relativa de 60±10%, e irrigadas por microaspersão. Foram semeadas duas sementes por célula (Figura 1A) e a repicagem realizada uma semana após a emergência, mantendo a mais vigorosa (Figura 1B). Ao todo, foram mantidas 10 plântulas de cada genótipo doador de pólen e 36 plântulas de cada um dos genótipos receptores de pólen.



Figura 7 – Bandejas recém semeadas (A), plântulas (B), canteiros e instalação da irrigação (C) e plantas 30 dias após transplântio (D). Fonte: Autor (2022).

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação sob o sistema de cultivo em solo, utilizando três canteiros (1,20 metros de largura e 50 metros de comprimento) cobertos com *mulching* de 25 micras de espessura. O solo foi previamente lavrado com enxada rotativa, e os canteiros finalizados manualmente, (Figura 8C). Para o tutoramento vertical das plantas foram instalados palanques com estirantes e arames. A irrigação foi localizada, utilizando tubos gotejadores com orifícios espaçados a cada 20 cm.

A adubação de base foi realizada conforme as necessidades indicadas pela análise de solo, sendo aplicados 800 kg ha⁻¹ de Superfosfato Simples, 700 kg ha⁻¹ de fertilizante fosfatado (18% de P₂O₅) e 500 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-04, 30 dias antes do transplante das mudas. O manejo suplementar ocorreu por fertirrigação e via foliar, com fornecimento intercalado de macro e micronutrientes a cada 10 dias (Tabela 9). Cerca de 20 dias após a semeadura, quando apresentavam entre três e cinco folhas definitivas, as mudas foram transplantadas para os canteiros em espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas.

Tabela 9 – Manejo de fertilidade realizado durante os experimentos.

Modo de aplicação	Fonte	Dose recomendada *
Fertirrigação	Formulado: 20-20-20	300 g 100 ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar: 20,0% de N + 5,0% de P ₂ O ₅ + 10,0% de K ₂ O + 1,0% de Mg + 5,0% de S + 1,0% de B + 0,05% de Cu + 0,1% de Mn + 0,05% de Mo + 7,0% de Zn.	3,0 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar a base de Potássio: 51,0% de K ₂ O + 17,3% de S.	1,5 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar: 1,0% de N + 4,40% de S + 0,15% de Co + 0,15% de Mo + 1,0% de Ni + 8,0% de Zn.	3,0 kg ha ⁻¹
Fertirrigação	Formulado: 30-10-10 + micronutrientes.	2,0 kg ha ⁻¹
Foliar	Fertilizante foliar a base de Cálcio e Boro: 8,0% de Ca e 2,0% de B.	2,0 L ha ⁻¹
Fertirrigação	Granulado: 15,5% de N + 19,0% de Ca	1,5 L ha ⁻¹

Legenda: * Diluição em 100 L⁻¹ de água. Fonte: Autor (2026).

O manejo de doenças fitopatogênicas foi realizado com pulverizador costal elétrico (Jacto®, modelo DJB-20), com capacidade de 20 L de calda e pressão do tanque de 60 psi (4.1 bar). A barra de pulverização com 1,5 m de comprimento, possuía quatro bicos do tipo cone, ponta fina, com vazão entre 150 e 300 L, variando conforme o ciclo da cultura. Foram aplicados produtos específicos de ação preventiva e curativa, rotacionados ao longo das pulverizações (Tabela 10).

Tabela 10 – Manejo fitopatogênico realizado durante os experimentos.

Grupo químico	Dose recomendada (p. c.)
clorotalonil (isoflalonitrila)	300 mL 100 L ⁻¹
clorotalonil (isoflalonitrila) + difenoconazol (triazol)	50 mL 100 L ⁻¹
Azoxistrobina (estrobilurina) + difenoconazol (triazol)	40 mL 100 L ⁻¹
Bentiavalicarbe isopropílico + Fluazinam	70 mL 100 L ⁻¹
mancozebe (alquilenobis(ditiocarbamato))	3,0 kg ha ⁻¹
famoxadona (oxazolidinadiona) + mancozebe (alquilenobis(ditiocarbamato))	160 g 100 L ⁻¹
fluxapiroxade (carboxamida) + piraclostrobina (estrobilurina)	35 mL 100 L ⁻¹
mandipropamid (éter mandelamida) + mandipropamid (éter mandelamida)	60 mL 100 L ⁻¹
bentiavalicarbe isopropílico (Valinamida carbamato) + clorotalonil (isoflalonitrila)	125 mL 100 L ⁻¹

Fonte: Autor (2026).

As plantas foram conduzidas com duas hastes e semanalmente se realizava a remoção dos brotos axilares e o tutoramento por meio de fitilhos plásticos, sendo que os amarrios iniciaram quando as plantas começaram a pender, concomitantemente com as desbrotas. A irrigação foi realizada duas vezes ao dia, durante 5 minutos. O manejo das plantas daninhas entre os canteiros foi realizado de forma manual com o uso de enxada.

Os cruzamentos iniciaram aproximadamente dois meses após o transplântio, com o surgimento dos primeiros botões florais. Nos genótipos receptores de pólen, foi realizada a emasculação manual do cone de anteras em flores ainda fechadas para evitar a autopolinização. Nos genótipos doadores as flores recém-abertas eram destacadas das plantas e com o auxílio de um vibrador manual o pólen era coletado e depositado em um recipiente feito de cartolina de coloração escura. A polinização era realizada no mesmo dia, sempre no período da manhã, logo após a emasculação. Após a coleta e emasculação das flores, foi realizada a polinização, a qual ocorria no mesmo dia, sempre no período da manhã. Cada flor receptora foi identificada com um pedaço de lã colorida em seu pedúnculo, indicando o genótipo doador correspondente (Figura 8A e B).

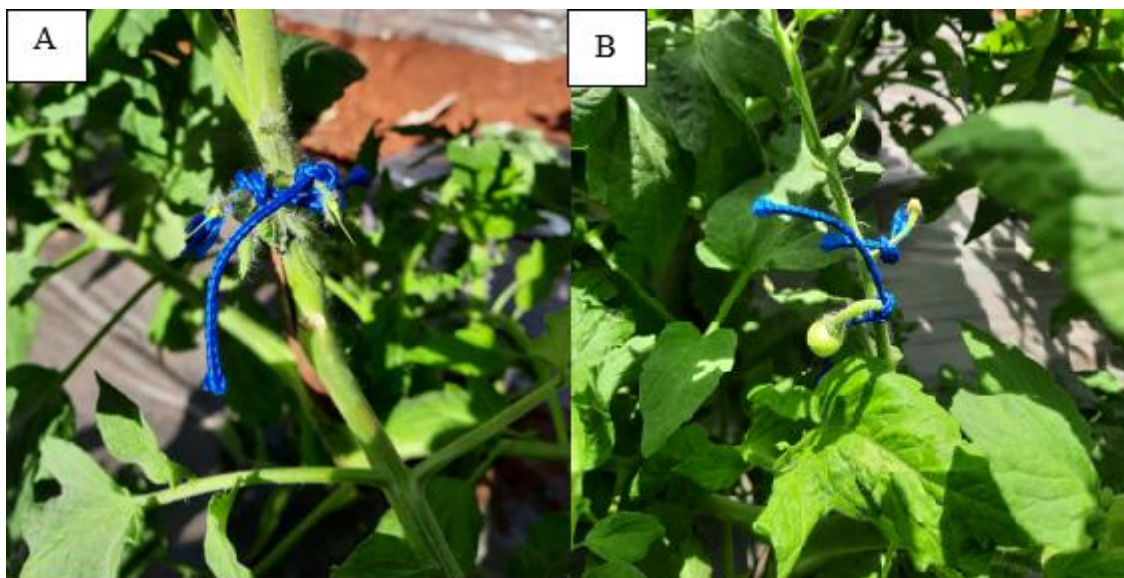


Figura 8 – Planta receptora de pólen após emasculação (A), fruto de cruzamento em desenvolvimento (B). Fonte: Autor (2022).

Semanalmente e após a maturação completa, os frutos foram colhidos, acondicionados em sacos plásticos e armazenados em temperatura ambiente no Laboratório de Horticultura da Universidade Estadual de Londrina. Posteriormente, as sementes híbridas F_1 de cada cruzamento foram coletadas, secas naturalmente e armazenadas em câmara fria (Figura 9). Sem tratamento pré-plantio, foram semeadas em bandejas de poliestireno de 72 células, preenchidas com substrato, seguindo o mesmo manejo empregado na produção das mudas das linhagens.

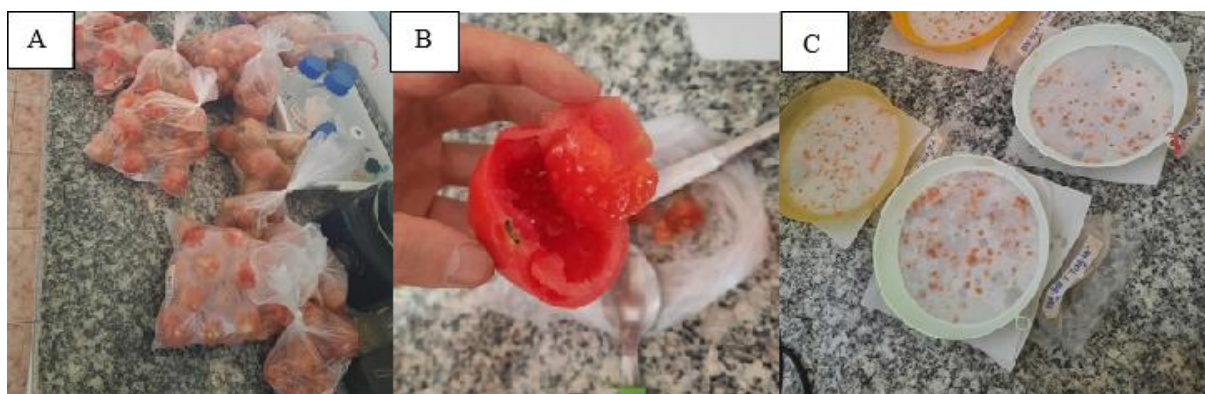


Figura 9 – Frutos coletados e identificados (A), extração de sementes (B) lavagem e secagem de sementes (C). Fonte: Autor (2022).

Posteriormente, as mudas dos híbridos F_1 foram transplantadas para os canteiros, onde adotou-se o delineamento experimental de blocos casualizados, com três parcelas compostas por oito plantas cada. O manejo seguiu os mesmos procedimentos utilizados na condução dos cruzamentos (Figura 10).



Figura 10 – Plantas em estágio produtivo. 30 dias após transplante (A), 60 dias após transplante (B) e 90 dias após transplante (C). Fonte: Autor (2023).

Quando as plantas atingiram 2,10 m de altura, foi realizada a capação, com a eliminação do broto terminal das hastes.

5.4.4 Determinação dos Teores de Acilaçúcares

Os teores de acilaçúcares foram determinados conforme a metodologia proposta por Resende et al. (2002). Aos 45 dias após o transplântio, foram coletados seis discos foliares de folíolos jovens expandidos, localizados no terço superior da planta, utilizando vazador de 3/8” de diâmetro, totalizando 4,21 cm² de área foliar. Os discos foram acondicionados em tubo de ensaio. A extração foi realizada com adição de 1 mL de diclorometano, seguida de agitação em vórtex por 30 segundos e remoção dos discos foliares. Após a evaporação do reagente, foi adicionado 0,5 mL de hidróxido de sódio (NaOH) dissolvido em metanol. A solução obtida foi colocada em banho-maria a 100 °C para evaporação do solvente. Em seguida, foi adicionado 1,0 mL de metanol e colocado novamente em banho-maria para evaporação.

O resíduo foi dissolvido em 0,5 mL de água, e adicionado 0,1 mL de ácido clorídrico (HCl) 0,04 N, seguido de aquecimento em banho maria por cinco minutos. Em seguida foi adicionado 0,5 mL do reagente Somogy-Nelson (reagente A + reagente B; 25:1), aquecido por 10 minutos e resfriado em água corrente. Ao fim foi adicionado 0,5 mL de arsenomolibdato para a reação colorimétrica do açúcar redutor, e agitadas por 15 segundos em vórtex.

A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro (UV-VIS Cary 100), no comprimento de onda de 540 nm (NELSON, 1944). Os valores obtidos correspondem

à absorvência relativa de açúcares, diretamente proporcional à concentração desses compostos. O procedimento foi realizado em triplicata para todas as plantas.

5.4.5 Bioensaio com Ácaro-Rajado (*T. urticae*)

5.4.5.1 Criação de *T. urticae*

A criação estoque *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), conhecido popularmente como ácaro-rajado, foi desenvolvida e mantida em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) com 2 a 3 semanas após semeadura, em gaiolas sob temperaturas de 23-30 °C (Figura 7A). A substituição das plantas de feijão foi realizada a cada 10 dias, cortando as plantas infestadas e a colocando em cima de uma nova planta para que os ácaros conseguissem se deslocar até às folhas novas.

5.4.5.2 Bioensaio sem chance de escolha

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis repetições. Para isso, foram utilizados discos foliares (cortados com um bisturi *punch* circular de 30 mm de diâmetro), de folíolos totalmente expandidos, coletados do terço médio de plantas com 40/50 dias de idade, de cada genótipo, colocados delicadamente com uma pinça, sobre a esponja coberta com uma camada de toalhas de papel saturadas com água destilada (para impedir a fuga dos ácaros), com face abaxial voltada para cima, dentro das arenas que consistiam em caixas gerbox (11 cm x 11 cm x 3,5 cm), sendo colocado seis discos foliares em cada arena (Figura 11C).

Seis ácaros fêmeas adultos de *T. urticae*, de 5 dias de idade, foram coletados e transferidos para cada disco foliar com auxílio de um estereomicroscópio (Olympus Microscope Package SZ51 Binocular) e um pincel de cerdas finas, e mantidos por 24 horas em câmara climatizada do tipo BOD (25±2 °C; 70±10UR%; 12h fotofase). Os ácaros fêmeas foram identificados por apresentarem um formato mais arredondado e comprimento dorsal (tamanho) maior que os machos (LI; ZHANG, 2018). Após esse período, foram contabilizados o número de ácaros vivos e ninfas, e as fêmeas adultas sobreviventes foram retiradas, restando apenas os ovos, os quais também foram contabilizados e mantidos para se avaliar a taxa de eclosão às 96 e 120 horas após a liberação das fêmeas.



Figura 11 – Criação de *T. urticae* em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivadas em vaso e mantidas dentro de gaiola entomológica (A); ovos e ácaros na face abaxial de folhas de feijão (B); montagem bioensaio (C). Fonte: Autor (2023).

5.4.6 Bioensaio com Traça-do-Tomateiro (*Tuta absoluta*)

Na preparação do local de cultivo, foram levantados os canteiros com 1,20 m de largura e 0,20 m de altura (Figura 12). A irrigação ocorreu de forma localizada, utilizando tubos gotejadores espaçados de 20 cm entre os orifícios. Os canteiros foram cobertos com *mulching* de 25 micras de espessura (Figura 12A). A adubação de base e de cobertura realizada de acordo as necessidades apontadas pela análise de solo. Foram aplicados 800kg do formulado 4-14-08 por hectare. A adubação suplementar ocorreu por fertirrigação, com fornecimento de macros e micronutrientes intercalados, a cada 10 dias. As mudas foram transplantadas em espaçamento de 1,0 m entre linhas e 0,50 m entre plantas. O transplântio das mudas foi realizado quando apresentavam de três a cinco folhas definitivas (cerca de 20 dias após a semeadura).

As plantas foram conduzidas por meio de tutoramento com fitilhos plásticos, sendo realizado a remoção dos brotos axilares semanalmente. As plantas foram irrigadas duas vezes ao dia, durante 5 minutos. O controle de doenças fitopatogênicas foi feito com uso de fungicidas (Absoluto 720® SC 200 mL p.c. 100 L⁻¹ água, Totalit® SC 125 mL p.c. 100 L⁻¹ água, Midas BR® WG 160 g p.c. 100 L⁻¹ água) de prevenção e curativos, os quais foram rotacionados durante as aplicações.

As avaliações foram realizadas semanalmente, iniciando quando as plantas se encontravam no estágio de pré-florescimento (30-40 DAT). Foram realizadas avaliações aos 14, 21, 28 e 35 dias após infestação, para oviposição e danos de parte aérea.



Figura 12 – Área pronta para o transplante das mudas (A); plantas com 30 dias após o transplante (B) e ovos de *T. absoluta* na parte abaxial dos genótipos de tomateiro (C).
Fonte: Autor (2023).

5.4.6.1 Oviposição

Folíolos do terço superior da planta foram utilizados para as avaliações, para contagem de ovos na superfície abaxial. A contagem foi realizada com auxílio de um estereomicroscópio (Olympus Microscope Package SZ51 Binocular) em uma área de 2 cm², evitando-se a contagem sobre a nervura central. Os folíolos foram coletados, acondicionados em sacos de papel e transportados até o Laboratório de Entomologia da Universidade Estadual de Londrina.

Os danos de parte aérea foram mensurados aos 14, 21, 28 e 35 dias após infestação (DAI), por meio de escala de notas proposta por Labory *et al.* (1996). Os avaliadores percorreram de forma aleatória as plantas distribuídas na estufa. As notas foram dadas por quatro avaliadores seguindo os seguintes critérios:

Intensidade de danos nas plantas (visualização planta inteira):

- 0- Nenhum dano;
- 1- Lesões pequenas (0,1 a 5% de dano);
- 2- Lesões pequenas e não coalescentes (5,1 a 20% de dano);
- 3- Lesões médias a grandes (20,1 a 50% de dano);
- 4- Lesões grandes e coalescentes (50,1 a 80% de danos);
- 5- Plantas totalmente destruídas (acima de 80% de danos)

Tipos de lesões nos folíolos

- 0 - Nenhuma lesão nos folíolos;
- 1 - Lesões pequenas e pouco numerosas;
- 2 - Lesões pequenas e médias, pouco numerosas, localizadas frequentemente nos bordos

dos folíolos;

- 3 - Lesões médias e grandes, numerosas e coalescentes, bordos dos folíolos deformados;
- 4 - Lesões grandes, coalescentes, folíolos completamente deformados;
- 5 - Lesões tomando todo o folíolo.

Folíolos atacados porcentagem de danos (visualização da folha inteira):

- 0 - 0% de folíolos atacados;
- 1 - 0,1 a 5% de folíolos atacados;
- 2 - 5,1 a 20% de folíolos atacados;
- 3 - 20,1 a 50% de folíolos atacados;
- 4 - 50,1 a 80% de folíolos atacados;
- 5 - 80,1 a 100% de folíolos atacados.

5.4.7 Análise dos Dados

A distribuição dos dados foi avaliada quanto à normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene. Quando necessário, os dados foram transformados para atender as premissas da análise de variância (ANOVA) e quando significativos, aplicado o teste de agrupamento de médias de Scott-Knott, adotando-se o nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$) utilizando o pacote *Agricolae* v.1.3-7 (MENDIBURU, 2023) no software R v. 4.5.2 (R CORE TEAM, 2025, <http://www.r-project.org/>). Posteriormente, foi realizado o agrupamento dos genótipos por meio da análise de componentes principais (PCA) por meio do *plugin* FactoMineR (LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F, 2008) no *software* R.

Utilizando o pacote *Emmeans* v.2.0.1 (LENTH, 2025) foram aplicados contrastes de interesse com base nas características genéticas dos genótipos apresentadas no Quadro 1 (APÊNDICE A). O *locus* *Ty-1*, embora descrito no quadro, não foi incluído nas análises, por estar associado exclusivamente à resistência a begomovirus, sem efeito conhecido sobre ácaros ou lepidópteros. A Tabela 11 apresenta os contrastes de interesse.

Tabela 11 – Contrastes de interesse entre genótipos de tomateiro com diferentes combinações de genes de resistência (*Mi*, acilaçúcares e zingibereno).

Contraste	Comparação	Explicação biológica
C01	$T41 - (T01+T02+T03)/3$	Paipai (<i>Mi</i> heterozigoto) vs grupo suscetível
C02	$T42 - (T01+T02+T03)/3$	<i>S. pennellii</i> (acilaçúcar heterozigoto) vs grupo suscetível
C03	$T42 - T41$	<i>S. pennellii</i> e Paipai
C04	$(T04+T05)/2 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> heterozigoto vs suscetíveis
C05	$(T10-T13)/4 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> homozigoto vs suscetíveis
C06	$(T06-T08)/3 - (T01-T03)/3$	Acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C07	$(T14-T20)/7 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> + acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C08	$T21 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> homozigoto + acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C09	$(T22+T23)/2 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> homozigoto vs suscetíveis
C10	$(T24-T28)/5 - (T01-T03)/3$	Acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C11	$(T29-T31)/3 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> heterozigoto + acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C12	$(T32+T33)/2 - (T01-T03)/3$	Acilaçúcar homozigoto + zingibereno heterozigoto vs suscetíveis
C13	$(T34-T36)/3 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> + acilaçúcar heterozigoto vs suscetíveis
C14	$(T37+T38)/2 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> + acilaçúcar homozigoto vs suscetíveis
C15	$T39 - (T01-T03)/3$	Acilaçúcar homozigoto + zingibereno homozigoto vs suscetíveis
C16	$T40 - (T01-T03)/3$	<i>Mi</i> homozigoto vs suscetíveis
C17	$(T04+T05)/2 - (T22+T23)/2$	<i>Mi</i> heterozigoto vs <i>Mi</i> homozigoto
C18	$(T24-T28)/5 - (T06-T08)/3$	Acilaçúcar homozigoto vs acilaçúcar heterozigoto
C19	$(T37+T38)/2 - (T14-T20)/7$	<i>Mi</i> + acilaçúcar homozigoto vs <i>Mi</i> + acilaçúcar heterozigoto
C20	$T39 - (T32+T33)/2$	Acilaçúcar homozigoto + zingibereno homozigoto vs acilaçúcar homozigoto + zingibereno heterozigoto
C21	$T40 - T21$	<i>Mi</i> homozigoto vs <i>Mi</i> homozigoto + acilaçúcar heterozigoto
C22	$(T29-T31)/3 - (T34-T36)/3$	<i>Mi</i> heterozigoto + acilaçúcar homozigoto vs <i>Mi</i> + acilaçúcar heterozigoto
C23	$(T37+T38)/2 - T39$	<i>Mi</i> + acilaçúcar homozigoto vs acilaçúcar + zingibereno homozigoto
C24	$(T22+T23)/2 - T40$	<i>Mi</i> homozigoto ($T22-T23$) comparado ao <i>Mi</i> homozigoto ($T40$)

5.5 RESULTADOS

5.5.1 Análise de Variância – *T. urticae*

Foram observadas diferenças significativas entre os genótipos para todas as variáveis analisadas, evidenciando ampla variabilidade fenotípica quanto aos parâmetros relacionados à sobrevivência, reprodução e desenvolvimento do ácaro rajado (Tabela 12). Os coeficientes de variação (CV) apresentaram valores entre 19.48 e 56.13%, sendo mais elevados nas variáveis de eclosão de ovos.

O número médio de ácaros vivos após 24 horas variou de 0.50 (*S. pennellii* LA-716) a 5.50 (TOM-723). Em contrapartida, o número de ácaros mortos apresentou amplitude inversa, com valores máximos de 5.50 (*S. pennellii* LA-716) e mínimos de 0.50–0.67 (TOM-723 e TOM-768, respectivamente), evidenciando contrastes marcantes entre os grupos avaliados.

Para o número de ovos depositados, os valores variaram até 1.97 (TOM-724), evidenciando ampla variabilidade na oviposição entre os genótipos. A eclosão de ovos após 96 horas atingiu 1.26 em TOM-723, enquanto após 120 horas os maiores valores foram observados em TOM-804 x TOM-812, com 1.38, confirmando diferenças expressivas na viabilidade dos ovos. Em todas as variáveis avaliadas, *S. pennellii* LA-716 apresentou valores nulos, destacando-se como o material mais resistente.

A absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) variou de 0.38 nm (TOM-811) a 0.99 nm (*S. pennellii* LA-716). Entre as linhagens, TOM-700 e TOM-760 apresentaram valores elevados (0.67 e 0.66, respectivamente), enquanto TOM-795 e TOM-811 exibiram os menores valores de ABS (0.40 e 0.37, respectivamente).

Entre os híbridos observou-se variação da ABS entre 0.36 nm e 0.60 nm, refletindo diferentes níveis de recuperação desse caráter nos materiais avaliados. Entre os cruzamentos com maiores ABS destacaram-se BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-811 (0.59 nm), TOM-723 x TOM-812 (0.60 nm) e BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-684 (0.57 nm), enquanto valores mais baixos foram registrados em TOM-795 x TOM-812 (0.38 nm), TOM-795 x TOM-768 (0.47 nm) e TOM-795 x BPX-466F-174-01-05-108-05 (0.47 nm).

Entre os cruzamentos com maiores absorbâncias relativas de acilaçúcares, alguns também apresentaram desempenho superior em relação aos parâmetros biológicos do ácaro. BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-811 exibiu menor número de ácaros vivos (2.83) e baixa oviposição (0.71 ovos), superando o parental TOM-811 (4.33 vivos; 1.42 ovos). De

forma semelhante, TOM-723 $\times$ TOM-812 apresentou redução expressiva na sobrevivência (3.83 vivos) e oviposição (1.28 ovos) em comparação ao parental TOM-723 (5.50 vivos; 1.95 ovos). Em contraste, BPX-466F-174-01-05-108-05 $\times$ TOM-684, apesar da ABS relativamente elevada (0.57 nm), manteve valores altos de sobrevivência (5.33 vivos) e oviposição (0.99 ovos), aproximando-se do comportamento do parental TOM-684 (4.50 vivos; 1.24 ovos).

Nos cruzamentos com menores ABS, foram verificados valores elevados de sobrevivência e oviposição, como em TOM-795 $\times$ TOM-812 (4.50 vivos; 1.33 ovos) e TOM-795 $\times$ TOM-768 (5.00 vivos; 1.54 ovos), ambos reproduzindo o padrão do parental TOM-795 (5.00 vivos; 1.76 ovos). De forma semelhante, TOM-795 $\times$ BPX-466F-174-01-05-108-05 (4.83 vivos; 0.90 ovos) apresentou desempenho próximo ao parental BPX-466F-174-01-05-108-05 (3.50 vivos; 0.53 ovos), sem ganhos expressivos em resistência.

Esses resultados reforçam que a introgressão do caráter de resistência oriundo de *S. pennellii* LA-716 resultou em respostas heterogêneas entre os cruzamentos, com alguns materiais mostrando potencial promissor e outros sem ganhos evidentes frente aos parentais.

Tabela 12 – Características de resistência a *T. urticae*: Número médio de ácaros vivos e mortos, ovos e ninfas após 24 horas; eclosão de ovos na superfície dos discos foliares após 96 e 120 horas e absorbância relativa de acilaçúcares (ABS, nm) dos genótipos de tomateiro.

Genótipo	Número de ácaros/disco		Número de ovos/disco ¹	Eclosão de ovos/disco		ABS
	Vivos	Mortos		96 horas ¹	120 horas ¹	
TOM-760 × TOM-811	3.83 b	2.17 b	0.76 c	0.00 c	0.58 b	0.50 b
TOM-777 × TOM-811	3.83 b	2.17 b	0.78 c	0.35 c	0.48 b	0.42 b
TOM-780 × TOM-811	4.17 a	1.83 c	1.52 b	0.88 b	1.21 a	0.41 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811	2.83 b	3.17 b	0.71 c	0.23 c	0.46 b	0.59 b
TOM-795 × TOM-811	4.50 a	1.50 c	1.33 b	0.83 b	0.90 a	0.38 b
TOM-723 × TOM-811	4.67 a	1.33 c	1.03 c	0.3 c	0.92 a	0.49 b
TOM-724 × TOM-811	4.83 a	1.17 c	0.88 c	0.48 c	0.71 b	0.49 b
TOM-804 × TOM-811	5.00 a	1.00 c	0.90 c	0.35 c	0.69 b	0.43 b
TOM-760 × TOM-812	3.67 b	2.00 b	1.59 b	0.76 b	1.21 a	0.45 b
TOM-780 × TOM-812	3.50 b	2.50 b	0.90 c	0.35 c	0.46 b	0.46 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812	3.50 b	2.50 b	0.88 c	0.12 c	0.35 b	0.54 b
TOM-795 × TOM-812	4.67 a	1.33 c	1.12 c	0.71 b	0.71 b	0.48 b
TOM-723 × TOM-812	3.83 b	2.17 b	1.28 b	0.53 c	0.35 b	0.60 b
TOM-724 × TOM-812	4.50 a	1.50 c	1.24 b	0.81 b	1.06 a	0.40 b
TOM-804 × TOM-812	5.17 a	0.83 c	1.88 a	0.98 a	1.38 a	0.36 b
TOM-760 × TOM-723	4.17 a	1.83 c	1.19 b	0.65 b	0.69 b	0.53 b
TOM-760 × TOM-724	3.50 b	2.50 b	1.03 c	0.65 b	0.48 b	0.50 b
TOM-795 × TOM-768	5.00 a	1.00 c	1.54 b	1.06 a	0.94 a	0.47 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-768	4.50 a	1.50 c	1.11 c	0.53 c	0.65 b	0.55 b
TOM-723 × TOM-768	5.17 a	0.83 c	1.74 a	1.06 a	1.24 a	0.49 b
TOM-724 × TOM-768	4.83 a	1.17 c	1.28 b	0.99 a	0.53 b	0.49 b
TOM-804 × TOM-768	5.33 a	0.67 c	1.55 b	1.01 a	0.90 a	0.48 b

Continua...

Continuação.

Genótipo	Número de ácaros/disco		Número de ovos/disco ¹	Eclosão de ovos/disco		ABS
	Vivos	Mortos		96 horas ¹	120 horas ¹	
TOM-795 × TOM-700	4.67 a	1.33 c	1.21 b	0.88 b	0.46 b	0.53 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700	4.33 a	1.67 c	0.83 c	0.69 b	0.58 b	0.52 b
TOM-795 × TOM-684	4.83 a	1.17 c	1.28 b	0.90 b	0.65 b	0.54 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-684	5.33 a	0.67 c	0.99 c	0.78 b	0.94 a	0.57 b
TOM- 795 × BPX-466F-174-01-05-108-05	4.83 a	1.17 c	0.90 c	0.35 c	0.23 b	0.47 b
TOM-760	3.33 b	2.67 b	0.71 c	0.12 c	0.41 b	0.66 b
TOM-777	3.83 b	2.17 b	0.99 c	0.35 c	0.65 b	0.46 b
TOM-780	3.67 b	2.33 b	0.53 d	0.35 c	0.46 b	0.47 b
TOM-795	5.00 a	1.00 c	1.76 a	1.24 a	1.14 a	0.40 b
TOM-804	4.50 a	1.50 c	0.88 c	0.46 c	0.46 b	0.47 b
TOM-811	4.33 a	1.67 c	1.42 b	0.76 b	0.93 a	0.37 b
TOM-812	4.17 a	1.83 c	1.08 c	0.53 c	0.46 b	0.45 b
TOM-723	5.50 a	0.50 c	1.95 a	1.26 a	1.23 a	0.48 b
TOM-724	5.00 a	1.00 c	1.97 a	1.14 a	1.06 a	0.41 b
TOM-768	5.33 a	0.67 c	1.82 a	1.21 a	1.26 a	0.49 b
TOM-700	4.33 a	1.67 c	1.93 a	1.06 a	0.88 a	0.67 b
TOM-684	4.50 a	1.50 c	1.24 b	0.65 b	0.71 b	0.44 b
BPX-466F-174-01-05-108-05	3.50 b	2.50 b	0.53 d	0.23 c	0.30 b	0.48 b
Paipai	5.17 a	0.83 c	1.50 b	1.14 a	0.76 b	0.45 b
<i>S. pennellii</i> LA-716	0.50 c	5.50 a	0.00 e	0.00 c	0.00 b	0.99 a
CV (%)	19.48	50.05	27.11	56.13	52.90	19.46
p-value	p<0.05					

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. Fonte: Autor (2026). ¹Variáveis transformadas por logaritmo.

5.5.2 Análise de Componentes Principais para Resistência à *T. urticae*

A análise de componentes principais (PCA) mostrou que os dois primeiros componentes explicaram 87.93% da variação total dos dados (Figura 13). Os vetores do número de ovos, eclosão após 96 e 120 horas e do número de ácaros vivos indicam forte contribuição dessas variáveis para a discriminação dos genótipos (Figura 13A). Por outro lado, acilaçúcar e número de ácaros mortos apresentaram associação positiva entre si e correlação negativa em relação às demais variáveis.

O gráfico de dispersão da PCA (Figura 13B) permitiu a distinção de três grupos de genótipos com perfis claramente contrastantes, os quais refletiram de forma consistente os padrões observados na análise de variância.

O primeiro grupo foi constituído exclusivamente por *S. pennellii* LA-716, que se manteve isolado dos demais genótipos em função da elevada absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) e da ausência de atributos associados à sobrevivência e à reprodução do ácaro. Esse comportamento singular justificou sua formação como grupo independente, não sendo diretamente comparável aos demais materiais avaliados.

O segundo e maior grupo reuniu genótipos predominantemente associados a valores intermediários de sobrevivência e reprodução do ácaro. As linhagens TOM-760 e BPX-466F-174-01-05-108-05 e a maioria dos seus híbridos permaneceram alocadas nesse grupo. Assim como a linhagem TOM-777 e todos os seus cruzamentos. A permanência conjunta dessas linhagens e de seus cruzamentos foi igualmente confirmada pela análise de variância, na qual se concentraram predominantemente em classes intermediárias para número de ácaros vivos, número de ovos e eclosão, sem apresentarem os maiores nem os menores valores médios.

O terceiro grupo foi composto por genótipos que apresentaram maiores valores para sobrevivência e reprodução do ácaro, caracterizados por elevadas médias de ácaros vivos, número de ovos e taxas de eclosão. Esse grupo incluiu parentais comerciais e diversos híbridos, como TOM-700, TOM-723, TOM-724, TOM-768, TOM-795, TOM-804, bem como cruzamentos como TOM-723 $\times$ TOM-768, TOM-780 $\times$ TOM-811, TOM-804 $\times$ TOM-812, TOM-724 $\times$ TOM-812 e TOM-804 $\times$ TOM-768. Esses materiais também foram classificados entre os grupos de maiores médias na ANOVA, evidenciando forte concordância entre os métodos de análise.

Genótipos com comportamento intermediário, como TOM-760 $\times$ TOM-812, TOM-723 $\times$ TOM-812 e TOM-724 $\times$ TOM-812, apresentaram posicionamento de transição entre os dois grupos principais, refletindo médias intermediárias observadas na análise de

variância e reforçando a existência de um gradiente contínuo de resposta entre os extremos.

De forma integrada, a PCA confirmou os padrões identificados pela ANOVA, tanto na delimitação dos genótipos com menor expressão de atributos de sobrevivência do ácaro quanto na identificação daqueles com maior expressão desses caracteres. A coincidência dos genótipos nos mesmos grupos nas duas abordagens demonstra robustez na classificação dos materiais e estabilidade na estrutura dos dados, com pequenas variações restritas a genótipos de comportamento intermediário.

Observou-se ainda que, em alguns casos, híbridos envolvendo a mesma linhagem apresentaram desempenho distinto conforme a posição em que essa linhagem participou do cruzamento, seja como genitor feminino ou como doador de pólen. Por exemplo, quando TOM-724 foi utilizada como genitor feminino, em cruzamentos como TOM-724 × TOM-812 (T14) e TOM-724 × TOM-768 (T21), os híbridos apresentaram médias elevadas para número de ácaros vivos (4.50 e 4.83, respectivamente) e número de ovos (1.24 e 1.28, respectivamente), comportamento semelhante ao observado para a própria linhagem TOM-724. Em contraste, quando TOM-724 participou como genitor masculino, como no cruzamento TOM-760 × TOM-724, observou-se redução nos valores de ácaros vivos (3.50) e número de ovos (1.03).

Padrão semelhante foi observado para TOM-723. Quando utilizada como genitor feminino, em TOM-723 × TOM-812 e TOM-723 × TOM-768, os híbridos apresentaram valores de ácaros vivos entre 3.83 e 5.17 e número de ovos entre 1.28 e 1.74, enquanto no cruzamento em que TOM-723 participou como genitor masculino, TOM-760 × TOM-723, os valores observados foram intermediários (4.17 ácaros vivos e 1.19 ovos).

Também se observaram contrastes envolvendo TOM-795. Como genitor feminino, em cruzamentos como TOM-795 × TOM-812 e TOM-795 × TOM-768, os híbridos apresentaram médias elevadas para número de ácaros vivos (4.67 e 5.00, respectivamente) e número de ovos (1.12–1.54, respectivamente), enquanto no cruzamento TOM-795 × BPX-466F-174-01-05-108-05 os valores foram inferiores para oviposição (0.90).

Esses contrastes indicam que híbridos envolvendo as mesmas linhagens podem apresentar respostas diferenciadas conforme a combinação e a posição dos genitores no cruzamento, padrão que foi consistente tanto na análise de variância quanto na análise multivariada.

Figura 13 – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à *T. urticae* (A) gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). Absorbância relativa de acilalúcares (ABS), ácaros vivos (AV), ácaros mortos (AM), número de ovos (NO), eclosão após 96h (ec96), eclosão após 120h (ec120).

5.5.3 Contrastes de Interesse para Resistência à *T. urticae*

A análise dos contrastes para o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) revelou padrões distintos de resistência entre os diferentes grupos genéticos (Tabela 13). A comparação entre os genótipos experimentais e os padrões de controle mostrou que os materiais suscetíveis apresentaram comportamento semelhante ao híbrido comercial Paipai, confirmando sua vulnerabilidade frente ao ácaro-rajado. O contraste C01 indicou que o Paipai oferece apenas uma proteção restrita e tardia, com reduções discretas na oviposição (-0.34) e na eclosão após 120h (-0.48), mas sem qualquer impacto significativo na sobrevivência de adultos. Em oposição drástica, o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716 demonstrou resistência absoluta, com reduções substanciais e altamente significativas em todos os parâmetros biológicos avaliados. As estimativas dos contrastes C02 e C03 revelaram supressão quase completa da praga, incluindo a redução de -4.83 adultos vivos e -1.84 ovos em relação aos suscetíveis, confirmando-se como o limite superior de defesa biológica no germoplasma.

Os acilaçúcares consolidaram-se como o principal mecanismo de defesa contra o ácaro-rajado, e sua eficácia mostrou-se fortemente dependente da dose alélica. Em heterozigose, os acilaçúcares reduziram moderadamente a sobrevivência de adultos (-1.00; C06), enquanto em homozigose ampliaram substancialmente essa supressão (-1.67; C10), além de promover reduções mais eficazes na oviposição (-0.91). O contraste C18 reforçou essa superioridade, demonstrando que a carga alélica completa é significativamente mais eficiente do que a condição heterozigota. Essa tendência foi confirmada pelos resultados observados para o híbrido BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811 (T24), homozigoto para acilaçúcares, que apresentou apenas 2,83 ácaros vivos e baixíssima oviposição (0.71), superando inclusive seus parentais. A linhagem TOM-760 (T37), também homozigota para acilaçúcares, manteve níveis reduzidos de infestação, com 3.33 ácaros vivos e apenas 0.71 ovos por disco, confirmando o papel central desse aleloquímico.

A presença de zingibereno atuou como coadjuvante, potencializando o efeito dos acilaçúcares quando em homozigose. O contraste C15 mostrou forte deterrência à oviposição (-1.31), superando os compostos isolados. Essa sinergia foi observada no híbrido TOM-780 × TOM-812 (T33), que reuniu acilaçúcares e zingibereno e apresentou apenas 3.50 ácaros vivos e 0.90 ovos por disco, destacando-se entre os materiais mais resistentes. Já o gene Mi demonstrou contribuição secundária e instável. Em heterozigose (C04), não afetou a sobrevivência de adultos e teve impacto limitado sobre ovos e eclosão tardia. Em homozigose (C07), ampliou a eficiência, mas permaneceu menos potente do que quando associado aos

acilaçúcares (C21). O contraste C24 revelou variações entre diferentes fontes do gene *Mi*, sugerindo a influência de modificadores genéticos secundários. Essa limitação foi evidente nas médias: a linhagem TOM-795 (T40), mesmo portando *Mi* em homozigose, apresentou 5.00 ácaros vivos e 1.76 ovos por disco, confirmando que genes maiores de resistência a patógenos não conferem proteção robusta contra o ácaro-rajado sem a barreira química dos acilaçúcares.

Entre os genótipos de elite, além de BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811 (T24) e TOM-760 (T37), destacaram-se o híbrido TOM-760 × TOM-811 (T29), que combina acilaçúcares em homozigose com *Mi* em heterozigose e apresentou apenas 3.83 ácaros vivos e 0.76 ovos por disco, e o híbrido TOM-780 × TOM-811 (T32), portador de homozigose para acilaçúcares e heterozigose para zingibereno, que reduziu a oviposição para 1.52 ovos por disco. No grupo mais suscetível, os maiores níveis de infestação foram registrados nos materiais desprovidos de acilaçúcares. A linhagem TOM-723 (T02) apresentou o maior número de ácaros vivos (5.50) e elevada eclosão de ovos (1.95), seguida pelo híbrido TOM-804 × TOM-768 (T16), com 5.33 ácaros vivos e 1.55 ovos. O híbrido TOM-723 × TOM-768 (T01) consolidou-se como um dos mais vulneráveis, com 5.17 ácaros vivos, 1.74 ovos e 1.06 eclosões após 120h, refletindo a ausência de genes de resistência em ambos os parentais.

Esses resultados confirmam que a presença de acilaçúcares, sobretudo em homozigose, é indispensável para conferir resistência efetiva contra o ácaro-rajado. A ausência desses aleloquímicos comprometeu a defesa mesmo em materiais portadores do gene *Mi*, evidenciando que os acilaçúcares constituem o eixo central da resistência. A associação com zingibereno mostrou efeito positivo, potencializando a deterrência da oviposição, mas sem substituir a eficácia da carga alélica completa de acilaçúcares.

Tabela 13 – Estimativas dos contrastes de interesse sob o número médio de ácaros vivos e mortos, ovos e ninfas após 24 horas de *T. urticae* e eclosão de ovos na superfície dos discos foliares após 96 e 120 horas nos genótipos de tomateiro avaliados.

Contrastes	Comparações	Número de ácaros/disco		Número de ovos/disco	Eclosão de ovos/disco	
		Vivos	Mortos		96 horas	120 horas
C01	T41 – (T01+T02+T03)/3	-0.17 ns	0.17 ns	-0.34 *	-0.03 ns	-0.48 **
C02	T42 – (T01+T02+T03)/3	-4.83 ***	4.83 ***	-1.84 ***	-1.18 ***	-1.24 ***
C03	T42 – T41	-4.67 ***	4.67 ***	-1.50 ***	-1.14 ***	-0.76 ***
C04	(T04+T05)/2 – (T01–T03)/3	-0.25 ns	0.25 ns	-0.42 ***	-0.18 ns	-0.53 ***
C05	(T10–T13)/4 – (T01–T03)/3	-0.75 **	0.75 **	-0.33 ***	-0.73 ***	-0.47 ***
C06	(T06–T08)/3 – (T01–T03)/3	-1.00 ***	1.00 ***	-0.70 ***	-0.12 ns	-0.61 ***
C07	(T14–T20)/7 – (T01–T03)/3	-0.57 *	0.57 *	-0.71 ***	-0.35 **	-0.38 ***
C08	T21 – (T01–T03)/3	-1.83 ***	1.83 ***	-0.81 ***	-0.50 ***	-0.76 ***
C09	(T22+T23)/2 – (T01–T03)/3	-0.58 ns	0.58 ns	-0.59 ***	-0.53 **	-0.69 ***
C10	(T24–T28)/5 – (T01–T03)/3	-1.67 ***	1.67 ***	-0.91 ***	-0.29 *	-0.74 ***
C11	(T29–T31)/3 – (T01–T03)/3	-1.56 ***	1.44 ***	-0.79 ***	-0.80 ***	-0.49 ***
C12	(T32+T33)/2 – (T01–T03)/3	-1.50 ***	1.50 ***	-0.63 ***	-0.81 ***	-0.41 **
C13	(T34–T36)/3 – (T01–T03)/3	-0.67 *	0.67 *	-0.72 ***	-0.57 ***	-0.63 ***
C14	(T37+T38)/2 – (T01–T03)/3	-1.75 ***	1.75 ***	-0.98 ***	-0.55 ***	-0.72 ***
C15	T39 – (T01–T03)/3	-1.67 ***	1.67 ***	-1.31 ***	-0.95 ***	-0.78 ***
C16	T40 – (T01–T03)/3	-0.33 ns	0.33 ns	-0.07 ns	-0.83 ***	-0.10 ns
C17	(T04+T05)/2 – (T22+T23)/2	0.33 ns	-0.33 ns	0.17 ns	0.06 ns	0.16 ns
C18	(T24–T28)/5 – (T06–T08)/3	-0.67 **	0.67 **	-0.21 *	-0.17 ns	-0.14 ns
C19	(T37+T38)/2 – (T14–T20)/7	-1.18 ***	1.18 ***	-0.28 **	0.18 ns	-0.34 **
C20	T39 – (T32+T33)/2	-0.17 ns	0.17 ns	-0.68 ***	-0.17 ns	-0.38 ns
C21	T40 – T21	1.50 **	-1.50 **	0.73 ***	-0.14 ns	0.66 **

Continua...

Continuação.

Contrastes	Comparações	Número de ácaros/disco		Número de ovos/disco	Eclosão de ovos/disco	
		Vivos	Mortos		96 horas	120 horas
C22	(T29–T31)/3 – (T34–T36)/3	-0.89 **	0.78 **	-0.07 ns	-0.00 ns	0.14 ns
C23	(T37+T38)/2 – T39	-0.08 ns	0.08 ns	0.32 *	0.26 *	0.07 ns
C24	(T22+T23)/2 – T40	-0.25 ns	0.25 ns	-0.52 **	-0.03 ns	-0.59 **

ns: não significativo; *, ** e *** Significativo pelo teste t a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

5.5.4 Análise de Variância – *T. absoluta*

A análise de variância apontou diferenças significativas entre os genótipos para todas as variáveis analisadas, confirmando ampla variabilidade fenotípica nos parâmetros de resistência à traça-do-tomateiro (Tabela 14). Os coeficientes de variação (CV) oscilaram entre 18.42% (Porcentagem de folíolos atacados) e 26.48% (Número de ovos)

O acesso silvestre *S. pennellii* LA-716 destacou-se por apresentar valores nulos em todas as variáveis, caracterizando imunidade completa à infestação. Entre os demais genótipos o número de ovos/2 cm² variou de 1.00 (TOM-760) a 2.48 (TOM-768). Os híbridos TOM-780 × TOM-812 e BPX-466F × TOM-811 também registraram valores baixos (1.27 e 1.30, respectivamente), evidenciando menor intensidade reprodutiva do inseto nesses materiais e desempenho superior ao controle comercial Paipai, que registrou 1.67 ovos/2 cm². Em contrapartida, genótipos como TOM-723 × TOM-768 e TOM-723 apresentaram médias superiores a 2.00 ovos/2 cm², caracterizando maior suscetibilidade.

A intensidade de danos nas plantas variou de 0.44 (TOM-760) a 3.25 (TOM-723 e TOM-723 x TOM-768). As linhagens TOM-760, TOM-780 (0.88) e TOM-777 (0.94) e o híbrido TOM-780 x TOM-811 (0.94), apresentaram médias inferiores a 1.00, o que as posiciona no intervalo de lesões pequenas, compreendendo entre 0,1 e 5% de dano. Em contrapartida, genótipos como TOM-723, TOM-768 (3.19) e o híbrido TOM-723 x TOM-768 registraram médias superiores a 3.00, caracterizando lesões médias a grandes em 20.1 a 50% da planta, superando a intensidade de danos observada na cultivar comercial Paipai (2.88).

Para a intensidade de danos foliares, as médias oscilaram entre 0.88 (TOM-780 x TOM-812) e 3.19 (TOM-723 e TOM-768). Os genótipos TOM-760 (1.06), TOM-760 x TOM-812 (1.00) e BPX-466F-174-01-05-108-05 (1.25) exibiram danos condizentes com a nota 1.0 da escala, apresentando lesões pequenas e pouco numerosas. No extremo oposto, a cultivar comercial Paipai (3.00) e as linhagens TOM-723 (3.19) e TOM-768 (3.19) apresentaram o patamar mais elevado de dano, com lesões médias a grandes, numerosas e coalescentes. Diversos híbridos aproximaram-se desse perfil de suscetibilidade, com destaque para TOM-804 x TOM-812 (2.75), TOM-724 x TOM-768 (2.75), TOM-723 x TOM-811 (2.56) e TOM-795 x TOM-812 (2.56).

A porcentagem de folíolos atacados variou de 0.94 (TOM-760) a 3.13 (TOM-768). Genótipos como TOM-780 (1.06) e os híbridos BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-811 (1.13) e TOM-780 x TOM-811 (1.25) mantiveram a infestação no patamar de 0.1 a 5% de

folíolos atingidos. Já a linhagem TOM-768 (3.13) e o híbrido TOM-723 x TOM-768 (3.12) registraram as maiores notas, aproximando-se da cultivar Paipai (3.06). Outros híbridos que demonstraram altos índices de ataque foram TOM-795 x TOM-768 (2.75) e TOM-804 x TOM-768 (2.69).

A absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) variou de 0.38 nm (TOM-811) a 0.99 nm (*S. pennellii* LA-716). Entre os híbridos a variação permaneceu entre 0.36 e 0.60 nm. Entre os cruzamentos com maiores teores de acilaçúcares, alguns também apresentaram desempenho superior frente à traça-do-tomateiro. O híbrido BPX-466F x TOM-811, por exemplo, registrou ABS de 0.59 nm associado a menor deposição de ovos (1.30) e baixa intensidade de danos foliares (1.19), superando o parental TOM-811, que apresentou absorbância inferior (0.37 nm) e valores mais elevados de oviposição (1.60 ovos) e danos (1.94). De forma semelhante, o cruzamento TOM-723 x TOM-812 exibiu ABS de 0.60 nm, com redução expressiva na intensidade de danos foliares (2.25) e percentagem de folíolos atacados (2.31) em comparação ao parental TOM-723, que apresentou valores máximos de danos (3.25) e elevada suscetibilidade. Mesmo cruzamentos envolvendo genitores com valores intermediários de ABS, como TOM-795 x TOM-768 (0.47 nm) e TOM-724 x TOM-812 (0.40 nm), resultaram em danos foliares expressivos (2.38 e 2.06, respectivamente), com notas condizentes com a presença de lesões médias a grandes e não coalescentes.

Em contrapartida, alguns cruzamentos com ABS relativamente elevada não traduziram esse caráter em resistência efetiva. O híbrido BPX-466F x TOM-684, com absorbância de 0.57 nm, manteve valores altos de intensidade de danos foliares (2.56) e percentagem de folíolos atacados (2.06), aproximando-se do comportamento do parental TOM-684, que apresentou 2.13 de danos foliares e 2.56% de folíolos atacados.

Nos cruzamentos com menores ABS, verificaram-se valores elevados de sobrevivência e danos, como em TOM-795 x TOM-812 (0.38 nm) e TOM-804 x TOM-812 (0.36 nm), ambos apresentando intensidade de danos foliares superior a 2.50 e percentagem de folíolos atacados acima de 2.50, reproduzindo o padrão dos parentais TOM-795 (0.40 nm e nota 2.44 para danos foliares) e TOM-804 (0.47 nm e nota 2.06 para danos foliares), que também se mostraram suscetíveis.

De modo geral, os resultados indicam que maiores valores de ABS estão associados à redução da oviposição e da intensidade de danos, tanto na planta quanto nos folíolos, como observado em TOM-760 e nos híbridos derivados de BPX-466F e TOM-723 x TOM-812, enquanto genótipos com teores mais baixos, como TOM-804 x TOM-812 e TOM-811, apresentaram maior suscetibilidade.

Tabela 14 – Características de resistência: Resultado médio do número de ovos de *T. absoluta*/ 2 cm², e notas médias da intensidade de danos nas plantas, intensidade de danos foliares, percentagem de folíolos atacados e absorbância relativa de acilaçúcares (ABS) dos genótipos de tomateiro.

Genótipo	Número de ovos ¹	Intensidade de danos nas plantas	Intensidade de danos foliares	Percentagem de folíolos atacados	ABS
TOM-760 × TOM-811	1.37 b	1.19 e	1.31 d	1.38 c	0.50 b
TOM-777 × TOM-811	1.20 b	1.13 e	1.38 d	1.56 c	0.42 b
TOM-780 × TOM-811	1.31 b	0.94 e	1.19 d	1.25 c	0.41 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811	1.27 b	1.00 e	1.19 d	1.13 c	0.59 b
TOM-795 × TOM-811	1.55 a	1.94 d	2.00 c	2.25 b	0.38 b
TOM-723 × TOM-811	1.77 a	1.88 d	2.56 b	2.19 b	0.49 b
TOM-724 × TOM-811	2.02 a	1.69 d	2.31 c	2.25 b	0.49 b
TOM-804 × TOM-811	1.72 a	1.19 e	2.19 c	2.19 b	0.43 b
TOM-760 × TOM-812	1.27 b	1.31 e	1.00 d	1.31 c	0.45 b
TOM-780 × TOM-812	1.30 b	1.25 e	0.88 d	1.25 c	0.46 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812	1.47 a	1.06 e	1.13 d	1.31 c	0.54 b
TOM-795 × TOM-812	1.75 a	2.06 c	2.56 b	2.38 b	0.48 b
TOM-723 × TOM-812	1.64 a	1.81 d	2.25 c	2.31 b	0.60 b
TOM-724 × TOM-812	1.61 a	1.88 d	2.06 c	2.44 b	0.40 b
TOM-804 × TOM-812	1.97 a	2.06 c	2.75 b	2.56 a	0.36 b
TOM-760 × TOM-723	1.74 a	2.00 d	1.69 d	2.06 b	0.53 b
TOM-760 × TOM-724	1.57 a	1.75 d	2.38 c	2.06 b	0.50 b
TOM-795 × TOM-768	1.31 b	2.44 c	2.38 c	2.75 a	0.47 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-768	1.58 a	2.31 c	2.25 c	2.25 b	0.55 b
TOM-723 × TOM-768	2.09 a	3.25 a	3.12 a	3.12 a	0.49 b
TOM-724 × TOM-768	1.75 a	2.44 c	2.75 b	2.44 b	0.49 b
TOM-804 × TOM-768	1.78 a	2.13 c	2.44 c	2.69 a	0.48 b
TOM-795 × TOM-700	1.69 a	1.69 d	2.06 c	1.88 b	0.53 b

Continua...

Continuação.

Genótipo	Número de ovos ¹	Intensidade de danos nas plantas	Intensidade de danos foliares	Percentagem de folíolos atacados	AA
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-700	1.58 a	1.75 d	1.88 c	2.19 b	0.52 b
TOM-795 × TOM-684	1.53 a	1.94 d	2.44 c	1.88 b	0.54 b
BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-684	1.34 b	1.88 d	2.56 b	2.06 b	0.57 b
TOM- 795 × BPX-466F-174-01-05-108-05	1.99 a	1.63 d	2.19 c	2.13 b	0.47 b
TOM-760	1.00 b	0.44 f	1.06 d	0.94 c	0.66 b
TOM-777	1.24 b	0.94 e	1.56 d	1.13 c	0.46 b
TOM-780	1.60 a	0.88 e	1.44 d	1.06 c	0.47 b
TOM-795	2.01 a	2.56 b	2.44 c	2.00 b	0.40 b
TOM-804	1.54 a	2.13 c	2.06 c	2.75 a	0.47 b
TOM-811	1.60 a	1.38 e	1.94 c	1.88 b	0.37 b
TOM-812	1.66 a	1.31 e	1.81 c	1.56 c	0.45 b
TOM-723	2.03 a	3.25 a	3.19 a	2.75 a	0.48 b
TOM-724	1.25 b	2.38 c	2.13 c	2.25 b	0.41 b
TOM-768	2.48 a	3.19 a	3.19 a	3.13 a	0.49 b
TOM-700	1.54 a	2.06 c	2.19 c	2.00 b	0.67 b
TOM-684	1.44 b	1.69 d	2.13 c	2.56 a	0.44 b
BPX-466F-174-01-05-108-05	1.37 b	1.06 e	1.25 d	1.5 c	0.48 b
Paipai	1.67 a	2.88 b	3.00 a	3.06 a	0.45 b
<i>S. pennellii</i> LA-716	0.00 c	0.00 f	0.00 e	0.00 d	0.99 a
CV (%)	26.48	18.84	19.16	18.42	19.46
p-value	p<0.05				

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott à 5% de probabilidade. ¹Variável transformada por logaritmo. Fonte: Autor (2026).

5.5.5 Análise de Componentes Principais para Resistência à *T. absoluta*

A análise de componentes principais (PCA) permitiu a redução da dimensionalidade dos dados, sintetizando as variáveis avaliadas em dois eixos principais que explicaram conjuntamente 90.19% da variância total (Figura 14). A discriminação dos materiais foi fortemente influenciada pelas variáveis de danos e oviposição, cujos vetores projetaram-se em sentido oposto a absorbância relativa de açúcares (ABS) (Figura 14A). Essa configuração evidencia o papel determinante deste aleloquímico na redução da intensidade de danos e na não-preferência para oviposição de *T. absoluta*.

A dispersão dos genótipos no plano bidimensional (Figura 14B) resultou na formação de quatro agrupamentos, demonstrando alta concordância com as diferenciações estabelecidas anteriormente pela análise de variância. Um desses grupos foi constituído exclusivamente por *S. pennellii* LA-716, que se manteve isolado dos demais materiais em função da elevada ABS e da ausência de oviposição e de danos, confirmando seu comportamento altamente resistente.

O segundo grupo concentrou 11 genótipos, entre eles linhagens como TOM-760, TOM-777, TOM-780 e BPX-466F-174-01-05-108-05 e híbridos como TOM-760 x TOM-811 e TOM-780 x TOM-812, o que ocorreu devido apresentarem menores valores de oviposição e danos, predominantemente nas notas 0–1 (0,1–5% de dano na planta e nos folíolos), além de valores mais elevados de ABS.

O grupo 3 reuniu a maioria dos genótipos, incluindo híbridos como TOM-804 x TOM-812, TOM-795 x TOM-812, TOM-790 x TOM-811 e parentais como TOM-811, TOM-795 e TOM-804. Esses materiais apresentaram ABS geralmente abaixo de 0.50 nm e níveis moderados de infestação e danos, com médias situadas nas notas 2–3 e percentagem de folíolos atacados entre 5,1–50%, refletindo suscetibilidade parcial.

Por fim, no grupo 4 foram alocados apenas as linhagens TOM-723, TOM-768, o híbrido TOM-723 x TOM-768 e a cultivar Paipai. Esses genótipos apresentaram médias superiores a nota 3 (20,1–50% de dano na planta e nos folíolos), além de percentagem de folíolos atacados acima de 20% e associação com baixa ABS.

Assim como ocorreu para o ácaro, para traça também houve desempenho diferenciado conforme a posição em que as linhagens participaram nos cruzamentos. Em todos os híbridos alocados no segundo grupo, os genitores femininos foram TOM-811 (em quatro cruzamentos) ou TOM-812 (em três cruzamentos), enquanto os genitores masculinos corresponderam às linhagens TOM-777, TOM-760, TOM-780 e BPX-466F-174-01-05-108-05.

Essa combinação resultou em híbridos com médias reduzidas de oviposição (15.0–31.3 ovos) e danos restritos às notas 0–1 (0,1–5% de folíolos atacados), além de valores mais elevados de ABS (0.45–0.59 nm). A recorrência dessas combinações explica a formação de um agrupamento homogêneo, caracterizado por híbridos com desempenho superior frente à infestação de *T. absoluta*, em concordância com os resultados da análise de variância.

Os parentais TOM-723 e TOM-768, permaneceram junto com o híbrido TOM-723 × TOM-768. Esses materiais apresentaram médias superiores a nota 3 (20,1–50% de dano), oviposição elevada (58.0–127.7 ovos) e baixa ABS (0.49–0.54 nm). Entretanto, quando a ordem parental foi invertida (TOM-768 × TOM-723), o híbrido não se manteve no mesmo agrupamento, apresentando médias inferiores e posicionando-se em grupo de menor suscetibilidade.

Contrastando ainda o comportamento de TOM-795, verificou-se que quando participou como genitor masculino, em cruzamentos como TOM-795 × TOM-812 e TOM-795 × TOM-768, os híbridos apresentaram médias elevadas para danos (notas 2–3) e oviposição (41.7–92.0 ovos). Por outro lado, no cruzamento TOM-795 × BPX-466F-174-01-05-108-05, os valores foram inferiores (23.3 ovos, nota 0–1 para danos), com o híbrido alocado em grupo de menor infestação.

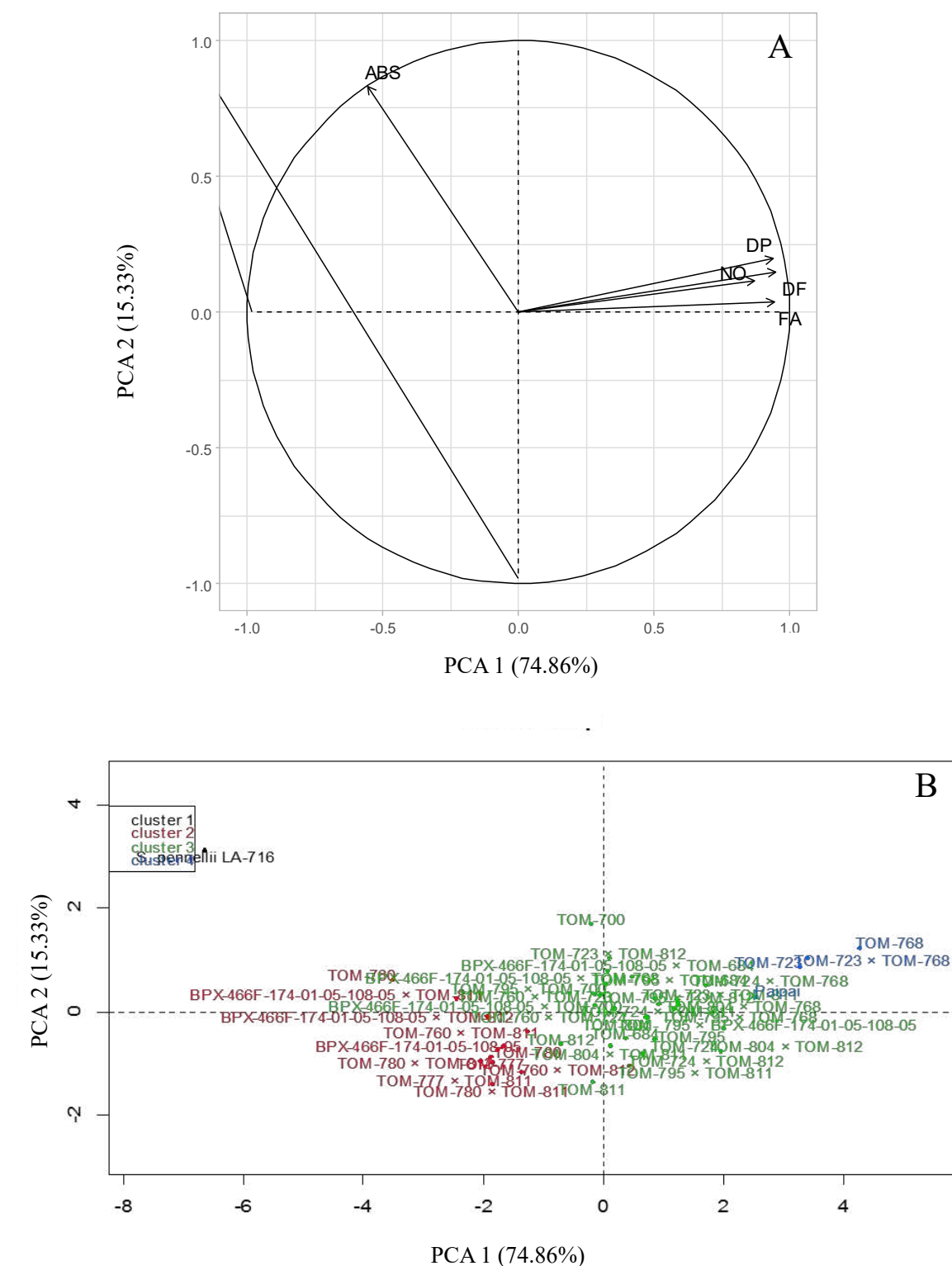


Figura 14 – Análise de Componentes Principais (PCA) para resistência à *T. absoluta* (A) e gráfico de dispersão dos grupos formados pelos genótipos de tomateiro avaliados (B). absorbância relativa de açúcares (ABS), números de ovos (NO), intensidade de danos nas plantas (DP), intensidade de danos nos folíolos (DF), percentagem de folíolos atacados (FA).

5.5.6 Contrastes de Interesse para Resistência à *T. absoluta*

A análise dos contrastes para a traça evidenciou diferenças marcantes entre os grupos suscetíveis e resistentes (Tabela 15). Nos materiais suscetíveis, o desempenho foi semelhante ao híbrido comercial Paipai, que não conseguiu conter a infestação. O contraste C01 mostrou apenas uma redução discreta no número de ovos (-0.53), sem reflexos consistentes nos danos ou na percentagem de folíolos atacados, confirmando que o Paipai atua como testemunha de suscetibilidade. Em contrapartida, o acesso silvestre *S. pennellii* LA-716 apresentou resistência absoluta, com supressão completa da oviposição e ausência de danos visíveis. Os contrastes C02 e C03 confirmaram reduções altamente significativas em todos os parâmetros, incluindo a eliminação da postura (-2.20 ovos), da intensidade de danos nas plantas (-3.23) e da percentagem de folíolos atacados (-3.00), estabelecendo o LA-716 como referência máxima de defesa biológica.

Os acilaçúcares foram novamente confirmados como o eixo central da resistência. A eficácia variou conforme a dose alélica: em heterozigose, os efeitos foram moderados, com reduções de cerca de meio ovo por disco e diminuição parcial dos danos foliares (C06), enquanto em homozigose os efeitos se ampliaram de forma robusta, com reduções próximas a um ovo (C11) e quedas expressivas na intensidade de danos (-2.02). Essa diferença se refletiu nas médias: a linhagem TOM-760 (T37), homozigota para acilaçúcares, apresentou apenas 1.00 ovo por disco, intensidade mínima de danos nas plantas (0.44) e menos de um folíolo atacado em média, confirmando o papel central desses aleloquímicos. O híbrido TOM-760 × TOM-811 (T29) também manteve a infestação em patamares baixos, com 1.37 ovos e danos foliares de 1.31, reforçando a importância da homozigose. Outro exemplo foi o cruzamento BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811 (T24), que apresentou 1.27 ovos e danos foliares de 1.19, mostrando consistência na defesa.

O zingibereno atuou como coadjuvante, ampliando a deterrência quando associado aos acilaçúcares. O contraste C15 mostrou reduções expressivas na intensidade de danos (-2.35) e na percentagem de folíolos atacados (-1.94). Esse efeito foi observado no híbrido TOM-780 × TOM-812 (T33), que reuniu acilaçúcares e zingibereno e apresentou apenas 1.30 ovos e intensidade de danos foliares de 0.88, destacando-se entre os mais resistentes. Já o gene Mi teve efeito secundário e instável: em heterozigose, reduziu discretamente o número de ovos (-0.44; C04) e os danos foliares (-0.57), enquanto em homozigose ampliou a eficiência, mas ainda ficou aquém da proteção conferida pelos acilaçúcares isolados. O contraste C24 mostrou que diferentes fontes do Mi, mesmo em

homozigose, variaram significativamente, sugerindo a presença de modificadores genéticos que modulam sua ação.

No grupo mais suscetível, os maiores níveis de infestação foram registrados nos genótipos sem acilaçúcares. A linhagem TOM-768 (T03) acumulou 2.48 ovos, intensidade de danos nas plantas de 3.19 e percentagem de folíolos atacados de 3.13, figurando como uma das mais vulneráveis. TOM-723 (T02) também apresentou valores elevados, com 2.03 ovos e intensidade de danos foliares de 3.19. Entre os híbridos, TOM-723 × TOM-768 (T01) foi o mais suscetível, com 2.09 ovos, intensidade de danos nas plantas de 3.25 e percentagem de folíolos atacados de 3.12, refletindo a ausência de acilaçúcares nos parentais.

Em síntese, os resultados demonstram que a homozigose para acilaçúcares é indispensável para conferir resistência efetiva contra *T. absoluta*. O gene *Mi* contribui de forma secundária e limitada, e o zingibereno atua como reforço, mas sem substituir o efeito central dos acilaçúcares. A consistência dos contrastes e das médias confirma que esses aleloquímicos são o principal determinante da resistência, enquanto os demais fatores explicam apenas variações complementares.

Os resultados obtidos por meio dos contrastes estão em estrita consonância com as análises de variância (ANOVA) e de componentes principais (PCA) tanto para o ácaro-rajado quanto para a traça-do-tomateiro, pois identificam os acilaçúcares como o eixo central da resistência.

Tabela 15 – Estimativa dos contrastes de interesse sob o número de ovos de *T. absoluta*, intensidade de danos nas plantas, intensidade de danos foliares, percentagem de folíolos atacados dos genótipos de tomateiro.

Contrastes	Comparações	Número de ovos	Intensidade de danos nas plantas	Intensidade de danos foliares	Percentagem de folíolos atacados
C01	T41 – (T01+T02+T03)/3	-0.53 *	-0.35 ns	-0.17 ns	0.06 ns
C02	T42 – (T01+T02+T03)/3	-2.20 ***	-3.23 ***	-3.17 ***	-3.00 ***
C03	T42 – T41	-1.67 ***	-2.88 ***	-3.00 ***	-3.06 ***
C04	(T04+T05)/2 – (T01–T03)/3	-0.44 *	-0.95 ***	-0.57 **	-0.44 **
C05	(T10–T13)/4 – (T01–T03)/3	-0.69 ***	-1.17 ***	-1.04 ***	-0.61 ***
C06	(T06–T08)/3 – (T01–T03)/3	-0.54 **	-1.23 ***	-0.81 ***	-0.75 ***
C07	(T14–T20)/7 – (T01–T03)/3	-0.49 ***	-1.45 ***	-0.96 ***	-0.75 ***
C08	T21 – (T01–T03)/3	-0.63 **	-1.48 ***	-0.79 ***	-0.94 ***
C09	(T22+T23)/2 – (T01–T03)/3	-0.59 **	-1.42 ***	-0.92 ***	-1.13 ***
C10	(T24–T28)/5 – (T01–T03)/3	-0.73 ***	-2.07 ***	-1.70 ***	-1.53 ***
C11	(T29–T31)/3 – (T01–T03)/3	-0.92 ***	-2.02 ***	-1.94 ***	-1.58 ***
C12	(T32+T33)/2 – (T01–T03)/3	-0.89 ***	-2.14 ***	-2.14 ***	-1.75 ***
C13	(T34–T36)/3 – (T01–T03)/3	-0.44 **	-1.35 ***	-0.92 ***	-0.75 ***
C14	(T37+T38)/2 – (T01–T03)/3	-1.08 ***	-2.54 ***	-1.85 ***	-1.97 ***
C15	T39 – (T01–T03)/3	-0.60 *	-2.35 ***	-1.73 ***	-1.94 ***
C16	T40 – (T01–T03)/3	-0.19 ns	-0.67 ***	-0.73 **	-1.00 ***
C17	(T04+T05)/2 – (T22+T23)/2	0.15 ns	0.47 **	0.34 ns	0.69 ***
C18	(T24–T28)/5 – (T06–T08)/3	-0.19 ns	-0.84 ***	-0.89 ***	-0.78 ***
C19	(T37+T38)/2 – (T14–T20)/7	-0.59 ***	-1.09 ***	-0.89 ***	-1.22 ***
C20	T39 – (T32+T33)/2	0.29 ns	-0.22 ns	0.41 ns	-0.19 ns
C21	T40 – T21	0.44 ns	0.81 ***	0.06 ns	-0.06 ns

Continua...

Continuação.

Contrastes	Comparações	Número de ovos	Intensidade de danos nas plantas	Intensidade de danos foliares	Percentagem de folíolos atacados
C22	$(T29-T31)/3 - (T34-T36)/3$	-0.49 **	-0.67 ***	-1.02 ***	-0.83 ***
C23	$(T37+T38)/2 - T39$	-0.48 ns	-0.19 ns	-0.13 ns	-0.03 ns
C24	$(T22+T23)/2 - T40$	-0.40 ns	-0.75 ***	-0.19 ns	-0.13 ns

ns: não significativo; *, ** e *** Significativo pelo teste t a 5%, 1% e 0,1% de probabilidade, respectivamente.

5.6 DISCUSSÃO

A análise dos cruzamentos revelou que a introgressão do caráter de resistência oriundo de *S. pennellii* resultou em respostas heterogêneas, com alguns híbridos apresentando ganhos expressivos e outros mantendo padrões semelhantes aos parentais suscetíveis. Esse comportamento pode ser explicado pela complexidade genética envolvida na biossíntese de acilaçúcares, regulada por redes de genes que controlam tanto a quantidade quanto a diversidade estrutural desses compostos nos tricomas glandulares (MANDAL; JI, MCKNIGHT, 2020). Assim, cruzamentos como BPX-466F-174-01-05-108-05 $\times$ TOM-811 e TOM-723 $\times$ TOM-812, que apresentaram redução significativa na sobrevivência e oviposição do ácaro em comparação aos parentais, ilustram o efeito positivo da combinação genética sobre a expressão de acilaçúcares. Em contrapartida, materiais como TOM-795 $\times$ TOM-812, mesmo com níveis intermediários de acilaçúcares, não apresentaram ganhos evidentes em resistência, sugerindo que a qualidade e o perfil químico dos acilaçúcares podem ser tão determinantes quanto sua concentração absoluta (MARINKE et al., 2025).

A ampla variabilidade observada entre os genótipos frente ao ácaro rajado (*T. urticae*) e à traça-do-tomateiro (*T. absoluta*) pode ser atribuída não apenas às diferenças na absorbância relativa de acilaçúcares, mas também ao *background* genético distinto das linhagens utilizadas. Linhagens como TOM-684, TOM-700, TOM-760 e TOM-777, que carregam múltiplos genes de resistência clássicos, como *Mi* (resistência a nematoides), *Pto* (resistência a *Pseudomonas syringae*), *Sm* (resistência a *Stemphylium solani*) e *Sw-5* (resistência a tospovírus), apresentaram desempenho superior em alguns parâmetros, sugerindo que a presença desses genes pode interagir com mecanismos bioquímicos, ampliando a defesa contra artrópodes. Essa interpretação é consistente com estudos que demonstram que a resistência em tomateiro é multifatorial, envolvendo tanto genes de resistência específicos quanto compostos secundários como os acilaçúcares (MANDAL; JI, MCKNIGHT., 2020; RAZIFARD et al., 2020).

Em contraste, genótipos como TOM-723 e TOM-724, que possuem *backgrounds* ligados a características de fruto (*og^c/nor^a*), mas não carregam genes clássicos de resistência, apresentaram maior suscetibilidade, confirmando que a ausência de *loci* de defesa pode limitar a eficácia dos acilaçúcares mesmo em níveis intermediários.

A linhagem TOM-768, por exemplo, que apresenta o gene *I3* (resistência a *Fusarium* raça 3) e *Sw-5*, mostrou suscetibilidade elevada frente à traça, indicando que genes

voltados para resistência a patógenos não conferem proteção direta contra artrópodes. Esse resultado é coerente com estudos que apontam que vias de defesa contra fungos e vírus não necessariamente se sobrepõem às vias de defesa mediadas por acilaçúcares e tricomas glandulares (POPOWSKI et al., 2025; DASSOU et al., 2025).

A cultivar comercial Paipai, utilizada como controle, reforça essa interpretação. Apesar de carregar genes como *Mi* e *Sw-5*, apresentou suscetibilidade intermediária frente às duas pragas, confirmando que a resistência a artrópodes não depende apenas de genes clássicos, mas da presença e diversidade estrutural dos acilaçúcares. Esse resultado é consistente com Mawcha et al. (2023) e Basit et al. (2025), que destacam que programas de melhoramento voltados para resistência a *T. absoluta* e *T. urticae* precisam integrar múltiplos mecanismos de defesa, combinando resistência genética clássica com compostos aleloquímicos.

A morfologia da planta também desempenha papel crucial. Linhagens determinadas, como TOM-811 e TOM-812, apresentaram baixa absorbância de acilaçúcares e maior suscetibilidade, o que pode estar relacionado à arquitetura mais compacta e à distribuição diferenciada dos tricomas. Trabalhos recentes demonstraram que a densidade e o tipo de tricomas glandulares modulam a eficácia dos acilaçúcares, podendo explicar por que genótipos com concentrações elevadas não traduzem esse caráter em resistência efetiva (LIMA FILHO et al., 2022; TABARY et al., 2024). Popowski et al. (2025) acrescentaram que os tricomas podem sofrer ruptura ultrarrápida quando atacados, liberando acilaçúcares de forma imediata como resposta defensiva, o que amplia a compreensão sobre a interação entre estrutura e bioquímica. Assim, mesmo que a quantificação de tricomas não tenha sido realizada neste estudo, é importante reconhecer que a morfologia da planta interage com a bioquímica, justificando parte da variabilidade observada.

Do ponto de vista bioquímico, os acilaçúcares são sintetizados nos tricomas glandulares tipo IV por enzimas da família ASAT (*Acylsugar Acyltransferases*), que atuam sequencialmente adicionando cadeias acila a açúcares simples, como glucose e sucrose. A diversidade estrutural resultante é geneticamente determinada e explica por que genótipos com concentrações semelhantes podem apresentar perfis defensivos distintos (LYBRAND et al., 2020). Mutantes com perda de função em genes ASAT apresentam redução drástica na resistência, confirmando o papel direto dessas proteínas na defesa. Além disso, proteínas transportadoras de membrana participam da secreção dos acilaçúcares para a superfície dos tricomas, onde exercem sua função, evidenciando que a resistência depende de um sistema integrado de biossíntese e transporte (DWIVEDI et al., 2025).

A produção de acilaçúcares também pode ser modulada por fatores externos, como temperatura, luminosidade e disponibilidade hídrica. Yan et al. (2023) e Wu et al. (2025) demonstraram que espectros ricos em luz de várias cores, como azul e vermelha estimulam maior produção de metabólitos secundários, enquanto baixa luminosidade reduz sua síntese. Além disso, Medyouni et al. (2021) observaram que o déficit hídrico pode alterar o balanço de açúcares e ácidos orgânicos, impactando a qualidade e a concentração dos acilaçúcares. Esses fatores ajudam a explicar por que genótipos com alto potencial genético podem apresentar desempenho variável em diferentes ambientes de cultivo, reforçando que a resistência é multifatorial e dependente da interação entre genética e ambiente.

A alta variabilidade explicada pelos dois primeiros componentes principais da PCA (87.93% para *T. urticae* e 90.19% para *T. absoluta*) confirma a forte associação entre os parâmetros biológicos das pragas e os níveis de acilaçúcares. Valores dessa magnitude já foram relatados em análises multivariadas de resistência em tomateiro, nas quais variáveis de sobrevivência, oviposição e intensidade de danos apresentaram correlação estreita e responderam pela maior parte da variabilidade (PULGA et al., 2020; RESENDE et al., 2021; WAKIL et al., 2025). Esse padrão reforça que os acilaçúcares atuam como moduladores centrais da biologia dos artrópodes, justificando a correlação negativa observada entre esse aleloquímico e atributos de sobrevivência e reprodução.

A correlação negativa observada entre ABS e os parâmetros de reprodução e sobrevivência, tanto para *T. urticae* quanto para *T. absoluta*, confirma que esses compostos atuam como moduladores centrais da resistência em tomateiro. Resultados semelhantes foram descritos por Lima Filho et al. (2022), que demonstraram associação inversa entre densidade de tricomas glandulares e desempenho de *T. urticae*, e por Resende et al. (2021) e Salazar Mendoza et al. (2025), que observaram menor atratividade para oviposição de *T. absoluta* em genótipos com altos teores de acilaçúcares. Pulga et al. (2020) e Wakil et al. (2025) reforçam que a indução ou acúmulo de metabólitos secundários reduz simultaneamente a infestação de ambas as pragas, confirmando a robustez da associação negativa.

Esse mesmo padrão de correlação negativa não se limita ao ácaro e à traça. Estudos com mosca-branca (*Bemisia tabaci*), tripses (*Frankliniella occidentalis*), pulgões (*Myzus persicae*) e lepidópteros como *Helicoverpa armigera* e *Spodoptera frugiperda* também demonstraram que maiores teores de acilaçúcares estão associados a menor oviposição, menor sobrevivência larval e menor intensidade de danos (DIAS et al., 2021; PANDEY et al., 2023; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN 2023). Assim, a relação inversa entre acúmulo de acilaçúcares e desempenho biológico de artrópodes representa um mecanismo generalista de

defesa, válido para diferentes ordens de insetos e consistente em múltiplos contextos experimentais.

A variação significativa observada no desempenho dos híbridos em função da ordem dos parentais evidencia que os efeitos recíprocos desempenham um papel central na herança de caracteres defensivos e na composição metabólica do tomateiro. A escolha de qual genótipo atua como doador de pólen ou como genitora feminina impacta diretamente a expressão de fenótipos complexos. Fortuny et al. (2021) demonstraram que até 53% dos caracteres avaliados em cruzamentos dialélicos, incluindo aminoácidos e açúcares, apresentam efeitos recíprocos significativos, enquanto Gimenez et al. (2021) evidenciaram que a ordem parental influenciou padrões de metilação do DNA e, conseqüentemente, a qualidade dos frutos.

O mecanismo biológico que sustenta essa variação repousa, sobretudo, nos efeitos maternos, na herança citoplasmática e no *imprinting* genômico. A herança citoplasmática decorre da distribuição assimétrica de organelas durante a fertilização, como plastídeos e mitocôndrias, com genomas próprios que podem influenciar o vigor e metabolismo da planta (FORTUNY et al., 2021). O *imprinting* genômico atua como regulador epigenético, determinando a expressão de alelos de acordo com o progenitor de origem, frequentemente mediado por padrões distintos de metilação entre gametas masculinos e femininos (GEHRING, SATYAKI, 2017; GIMENEZ et al., 2021). Esses processos explicam, por exemplo, por que um híbrido pode reduzir drasticamente a oviposição de pragas quando a linhagem resistente atua como genitor masculino, mas não reproduz o mesmo nível de defesa quando utilizada como parental feminino.

A resistência a pragas em tomateiro é reconhecidamente multigênica e quantitativa e o *background* genético do genitor exerce papel determinante na eficácia dessa característica introgridida de *S. pennellii*. Como a biossíntese dos acilaçúcares é mediada por uma série de enzimas da família ASAT (LEONG et al., 2020; MANDAL; JI, MCKNIGHT, 2020, SMEDA; SMITH, MUTSCHLER, 2023), a interação entre os QTLs derivados do acesso silvestre (tipicamente três a quatro *loci* principais) e o genoma do parental receptor pode tanto potencializar quanto restringir a produção e a diversidade estrutural dessas moléculas (SMEDA; SMITH, MUTSCHLER, 2023). Essa diversidade química ajuda a explicar porque híbridos derivados de parentais resistentes podem apresentar desempenho diferenciado conforme a ordem dos genitores, já que diferentes combinações de QTLs e alelos modulam não apenas a quantidade, mas também a composição qualitativa dos acilaçúcares.

A ocorrência de transgressões positivas em determinados cruzamentos, nos quais híbridos superam ambos os parentais, evidencia que o estado heterozigoto pode liberar

novas interações regulatórias, maximizando a produção de metabólitos secundários sem incorrer nos custos de *linkage drag* típicos das espécies silvestres (FORTUNY et al., 2021; BINEAU et al., 2022). Em síntese, os resultados reforçam que a resistência não depende apenas do teor absoluto de acilaçúcares, mas da interação precisa entre direção do cruzamento, *background* genético receptor e composição qualitativa dos metabólitos sintetizados nos tricomas (LYBRAND et al., 2020; LIMA FILHO et al., 2022).

A análise integrada dos contrastes ortogonais evidencia que a resistência do tomateiro frente ao ácaro-rajado (*T. urticae*) e à traça-do-tomateiro (*T. absoluta*) é sustentada por uma hierarquia clara de mecanismos: acilaçúcares constituem o eixo central, zingibereno atua como coadjuvante importante e o gene *Mi* exerce papel secundário, dependente de contexto genético, condição alélica e ambiente. Essa estrutura de defesa em camadas é consistente com o paradigma atual de resistência em solanáceas, em que metabólitos especializados derivados de espécies silvestres funcionam como barreiras constitutivas de amplo espectro, enquanto genes maiores modulam vias regulatórias internas (OLIVEIRA et al., 2018a; NEIVA et al., 2019; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023; OLIVEIRA et al., 2023).

Os acilaçúcares, secretados por tricomas glandulares tipo IV, formam uma matriz pegajosa e bioquimicamente ativa que interfere na locomoção, alimentação e oviposição de artrópodes, promovendo antixenose e antibiose robustas. A dose-dependência observada nos contrastes, com efeitos mais intensos em homozigose, reflete a natureza quantitativa desse caráter: níveis elevados de acilaçúcares intensificam o estresse mecânico e químico imposto às fêmeas e à progênie, resultando em reduções consistentes de ovos, ninfas e danos foliares (MACIEL et al., 2018; PEIXOTO et al., 2020; LIMA FILHO et al., 2022). Esse padrão é coerente com estudos que demonstram correlação negativa entre teor de acilaçúcares e parâmetros biológicos de *T. urticae* e *T. absoluta*, confirmando que se trata de uma defesa constitutiva e estável.

O zingibereno, por sua vez, atua predominantemente por antixenose. Genótipos com altos teores desse sesquiterpeno apresentam forte repelência e não-preferência para oviposição de *T. urticae*, *B. tabaci* e *T. absoluta*, além de efeitos deletérios na biologia dos ácaros, como maior mortalidade e menor fecundidade (MALUF et al., 2010; ZANIN et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020). Em acessos silvestres e retrocruzados, a combinação de zingibereno e acilaçúcares resulta em resistência ampliada, com inibição do desenvolvimento larval de *T. absoluta* e menor área de lesão foliar (DINIZ et al., 2022; MAHMOUD et al., 2024). A relativa estabilidade do efeito do zingibereno, menos dependente da condição alélica, sugere que sua ação está fortemente ligada ao comportamento inicial de busca e colonização das

pragas, atuando como barreira química de amplo espectro.

Em contraste, o gene *Mi* apresentou desempenho mais errático e limitado. Originalmente selecionado contra nematoides de galha, o *Mi* é um gene NBS-LRR cuja função principal é reconhecer efetores e deflagrar respostas de hipersensibilidade e cascatas de sinalização de defesa. Para nematoides, sua eficácia é alta em condições amenas, mas a resistência colapsa acima de 28–30 °C devido à termossensibilidade da proteína de reconhecimento (NEIVA et al., 2019; MACIEL et al., 2024). Essa característica explica por que, em ensaios com ácaro e traça conduzidos em ambientes de casa de vegetação com temperaturas próximas ou superiores a esse limite, o *Mi* isolado produziu apenas efeitos discretos sobre oviposição ou eclosão, sem reduzir de forma eficaz a sobrevivência de adultos. Além disso, há diferenças fundamentais de interface, pois os nematoides desencadeiam respostas localizadas em raízes, enquanto ácaros e traças interagem com tecidos foliares de forma difusa e móvel, dificultando que a resposta mediada por *Mi* se estabeleça em tempo hábil (OLIVEIRA et al., 2018a).

Além do fator térmico, a natureza da interação alimentar é determinante. Para que o *Mi* ative defesas sistêmicas, é necessário o reconhecimento de padrões moleculares associados à herbivoria ou efetores específicos da saliva do inseto, algo que ocorre de forma mais eficiente durante a alimentação profunda de sugadores no floema (OLIVEIRA et al., 2023; NEIVA et al., 2019). No caso de *T. urticae*, que possui estiletes curtos e consome o conteúdo de células do parênquima de maneira difusa, o padrão de lesão pode não gerar o sinal necessário para desencadear uma resposta foliar robusta via *Mi* (OLIVEIRA et al., 2018). Essa janela de atraso entre o ataque e a possível resposta induzível permite que pragas de alta mobilidade se estabeleçam antes que a planta consiga efetivar qualquer barreira sistêmica (OLIVEIRA et al., 2018b).

A literatura confirma que, para insetos sugadores como *B. tabaci*, o *Mi* reduz ninfas em torno de 20–50%, mas sempre em magnitude inferior à conferida por acilaçúcares ou zingibereno (OLIVEIRA et al., 2023; NEIVA et al., 2019). Em *T. urticae*, bioensaios mostraram ausência de repelência em genótipos portadores de *Mi*, mesmo em temperaturas baixas favoráveis à estabilidade da proteína, indicando que o padrão de dano do ácaro não gera sinais compatíveis com a via de reconhecimento do gene (OLIVEIRA et al., 2018a). Para *T. absoluta*, reduções discretas em oviposição e danos também foram observadas, mas sempre inferiores às obtidas por acilaçúcares em homozigose (MAHMOUD et al., 2024). Esses achados reforçam que o *Mi*, sozinho, não é suficiente para conferir resistência eficiente e estável a artrópodes, funcionando apenas como modulador secundário.

A análise do *background* genético revela que o *Mi* não é um gene de efeito absoluto, mas um modulador cuja eficácia é condicionada pelo conjunto de loci de fundo. A diferença observada entre duas fontes distintas de *Mi* em homozigose sugere que a resistência é influenciada por QTLs residuais que controlam o metabolismo secundário e atributos anatômicos (DINIZ et al., 2022; MAHMOUD et al., 2024, 2025; TERCENCIANO et al., 2025). Um exemplo crítico desses componentes são os idioblastos contendo cristais de oxalato de cálcio. A presença e a densidade desses cristais nas folhas estão diretamente correlacionadas à redução da sobrevivência e da oviposição de *T. urticae*, pois atuam como barreiras físicas internas e fontes de íons tóxicos quando ingeridos (TERCENCIANO et al., 2025). Além disso, a presença de bandas proteicas específicas em acessos resistentes indica que a expressão de genes de defesa e a biossíntese de compostos como os monoterpenos são co-segregadas, sugerindo que o sucesso do *Mi* depende de um substrato defensivo pré-existente (WEINBLUM et al., 2021; MAHMOUD et al., 2024).

A piramidação de altos teores de acilaçúcares, zingibereno e o gene *Mi* produz o nível mais elevado e estável de resistência global. Nesse modelo de defesa em camadas, os aleloquímicos constitutivos preparam o cenário, reduzindo a pressão inicial de colonização e o dano efetivo (GOUVEIA et al., 2018; NEIVA et al., 2019; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023). Quando o ambiente é favorável e o *background* genético é rico em defesas acessórias (como cristais de oxalato e tricomas), o *Mi* atua como um reforço complementar em homozigose, amplificando as respostas de defesa em focos residuais de alimentação (REZENDE et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2023). Essa estratégia poligênica é fundamental para aumentar a durabilidade da resistência, uma vez que a pressão de seleção sobre cada componente isolado é mitigada pela presença de múltiplos mecanismos de ação simultâneos (MALUF et al., 2010; CICEOI et al., 2021; MUTSCHLER; KENNEDY, ULLMAN, 2023).

Em síntese, os contrastes convergem para um modelo em que a resistência a *T. urticae* e *T. absoluta* é majoritariamente governada por defesas constitutivas e quantitativas, como acilaçúcares e zingibereno, sustentadas por arquitetura de tricomas e atributos anatômicos, enquanto o *Mi* atua como gene de efeito específico, cooptado para insetos sugadores, mas com ação limitada e altamente dependente de dosagem, temperatura e *background* genético.

5.7 CONCLUSÕES

A avaliação conjunta para *Tetranychus urticae* e *Tuta absoluta* confirmou que

a seleção para altos teores de acilaçúcares foi o mecanismo mais eficiente de resistência, reduzindo de forma consistente a sobrevivência, a oviposição, a eclosão de ovos e a intensidade de danos das duas pragas, sobretudo quando o caráter se encontrava em homozigose, superando amplamente o desempenho do gene Mi e do zingibereno isolados ou em combinações parciais. Entre os genótipos promissores destacam-se BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-811, BPX-466F-174-01-05-108-05 × TOM-812, TOM-760 × TOM-811, TOM-780 × TOM-811 e TOM-723 × TOM-812, que apresentaram simultaneamente teores de acilaçúcares acima da média, menor número de indivíduos de *T. urticae* e *T. absoluta* e menor intensidade de danos em comparação à cultivar Paipai e a diversos parentais suscetíveis, constituindo materiais prioritários para avanço em programas de melhoramento de tomateiro italiano com resistência multifatorial baseada principalmente em acilaçúcares.

5.8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASIT, A. et al. Transforming *Tuta absoluta* Management: A Synergistic Approach Integrating Sustainability, Biological Control, and Biotechnological Innovations. **Insects**, v. 16, n. 11, p. 1173, 2025.
- BINEAU, E. et al. Inheritance of secondary metabolites and gene expression related to tomato fruit quality. **International journal of molecular sciences**, v. 23, n. 11, p. 6163, 2022.
- CICEOI, R. et al. Insights on solanaceous resistance against tomato leafminer (*Tuta absoluta*), with emphasis on chemical compounds useful in integrated pest management. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 49, n. 4, p. 12543-12543, 2021.
- DINIZ, F. C. P. et al. Development of BC3F2 tomato genotypes with arthropod resistance introgressed from *Solanum habrochaites* var. *hirsutum* (PI127826). **Horticulturae**, v. 8, n. 12, p. 1217, 2022.
- DWIVEDI, V.; OKERTCHIRI, E.; YOKOM, A.; SCHENCK, C. A. A metabolic complex involved in tomato specialized metabolism. **bioRxiv**, 2025.
- FORTUNY, A. P. et al. Tomato fruit quality traits and metabolite content are affected by reciprocal crosses and heterosis. **Journal of Experimental Botany**, v. 72, n. 15, p. 5407-5425, 2021.
- GEHRING, M.; SATYAKI, P. R. Endosperm and imprinting, inextricably linked. **Plant physiology**, v. 173, n. 1, p. 143-154, 2017.
- GIMENEZ, M. D. et al. Fruit quality and DNA methylation are affected by parental order in reciprocal crosses of tomato. **Plant Cell Reports**, v. 40, n. 1, p. 171-186, 2021.

GUAN, J. et al. Endophytic colonization via *Cordyceps cateniannulata* induces a growth-enhancing effect and increases the resistance of tomato plants against *Tetranychus urticae* (Koch). **Crop Protection**, v. 193, p. 107182, 2025.

KUMAR, Varun et al. Phenylalanine treatment induces tomato resistance to *Tuta absoluta* via increased accumulation of benzenoid/phenylpropanoid volatiles serving as defense signals. **The Plant Journal**, v. 119, n. 1, p. 84-99, 2024.

LARACH, J. O. I. et al. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. p. 250, 19842.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an R package for multivariate analysis. **Journal of statistical software**, v. 25, p. 1-18, 2008.

LENTH, R. V. **Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means**. R package version 2.0.1, 2025.

LEONG, B. J. et al. Specialized metabolism in a nonmodel nightshade: trichome acylinositol biosynthesis. **Plant Physiology**, v. 183, n. 3, p. 915-924, 2020.

LIMA FILHO, R. B. et al. Relationship between acylsugars and leaf trichomes: mediators of pest resistance in tomato. **Insects**, v. 13, n. 8, p. 738, 2022.

LYBRAND, D. B. et al. An integrated analytical approach reveals trichome acylsugar metabolite diversity in the wild tomato *Solanum pennellii*. **Metabolites**, v. 10, n. 10, p. 401, 2020.

MACIEL, G. M. et al. Tomato genotypes with determinate growth and high acylsugar content presenting resistance to spider mite. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2018.

MACIEL, G. M. et al. New insights into the use of dwarf tomato plants for pest resistance. **Bragantia**, v. 83, p. e20240066, 2024.

MAHMOUD, A. M. A. et al. *Tuta absoluta* (Meyrick) resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) accessions and species. **International Journal of Pest Management**, v. 70, n. 4, p. 937-949, 2024.

MAHMOUD, A. M. A. et al. Exploring Ty resistance genes and genetic diversity in improved tomato lines selected from commercial hybrids. **BMC Plant Biology**, v. 25, n. 1, p. 1213, 2025.

MANDAL, S.; JI, W.; MCKNIGHT, T. D. Candidate gene networks for acylsugar metabolism and plant defense in wild tomato *Solanum pennellii*. **The Plant Cell**, v. 32, n. 1, p. 81-99, 2020.

MANIGAT, D. et al. Associational Resistance Using Wild and Commercial Tomato Genotypes Employed in the Management of Tomato Virus Vectors. **Agriculture**, v. 14, n. 1, 98, 2024.

MARINKE, L. S. et al. Tomato genotypes with high acylglucose levels tolerant to arthropod pests. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 19, n. 49, p. 1-12, 2025.

MAWCHA, K. T. et al. An overview of sustainable management strategies for *Tuta absoluta*. **International Journal of Pest Management**, p. 1-24, 2025.

MEDYOUNI, Ibtissem et al. Effects of water deficit on leaves and fruit quality during the development period in tomato plant. **Food Science & Nutrition**, v. 9, n. 4, p. 1949-1960, 2021.

MENDIBURU, F. **Agricolae: Statistical procedures for agricultural research**. R package version 1.3-7, 2023. Disponível em: <https://cran.r-project.org/package=agricolae>.

MUTSCHLER, M. A.; KENNEDY, G. G.; ULLMAN, D. E. Acylsugar-mediated resistance as part of a multilayered defense against thrips, orthospoviruses, and beyond. **Current Opinion in Insect Science**, v. 56, p. 101021, 2023.

NEIVA, I. et al. Tomato genotype resistance to whitefly mediated by allelochemicals and Mi gene. **Chilean journal of agricultural research**, 2019.

NELSON, N. A Photometric adaptation of the somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, n. 2, p. 375–380, 1944.

NITSCHKE, P. R. et al. **Atlas Climático do Estado do Paraná**. Londrina, PR: IAPAR, 2019.

NOMBELA, G. et al. Variation in tomato host response to *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in relation to acyl sugar content and presence of the nematode and potato aphid resistance gene Mi. **Bulletin of Entomological Research**, v. 90, p. 161–167, 2000.

OLIVEIRA, C. M. et al. Reppelency to spider mite mediated by the gene mi and by the synergism between high foliar contents of acylsugar and zingiberene in tomato. 2018b.

OLIVEIRA, C. M. et al. Resistance to whitefly mediated by the Mi gene, acylsugars, and zingiberene in tomato. **Comunicata Scientiae**, 2023.

OLIVEIRA, J. R. F. et al. Trichomes and allelochemicals in tomato genotypes have antagonistic effects upon behavior and biology of *Tetranychus urticae*. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 1132, 2018a.

OLIVEIRA, J. R. F. de et al. Tomato breeding for sustainable crop systems: high levels of zingiberene providing resistance to multiple arthropods. **Horticulturae**, v. 6, n. 2, p. 34, 2020.

PANDEY, S. et al. Acylsugar tomato lines suppress whiteflies and *Amblyseius swirskii* establishment. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, v. 171, n. 10, p. 745-753, 2023.

PEIXOTO, J. V. M. et al. Productivity, acylsugar concentrations and resistance to the two-spotted spider mite in genotypes of salad tomatoes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 9, p. 596-602, 2020.

POPOWSKI, J. et al. Glandular trichome rupture in tomato plants is an ultra-fast & sensitive defense mechanism against insects. **Journal of Experimental Botany**, p. eraf257, 2025.

PULGA, Paulo Sérgio et al. Salicylic acid treatments induce resistance to *Tuta absoluta* and *Tetranychus urticae* on tomato plants. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 288-294, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, Version 4.5.2, 2025.

- RAZIFARD, H. et al. Genomic evidence for complex domestication history of the cultivated tomato in Latin America. **Molecular biology and evolution**, v. 37, n. 4, p. 1118-1132, 2020.
- RESENDE, J. T. V. et al. The introgression of resistance to *Tuta absoluta* in tomato based on glandular trichomes. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 15, p. 873–885, 2021.
- SALAZAR-MENDOZA, P. et al. Endophytic entomopathogenic fungus, individually and in combination with rhizobacteria, enhances resistance in wild and cultivated tomatoes to *Tuta absoluta*. **Journal of Pest Science**, v. 98, p. 731–745, 2025.
- SILVA, V. F. et al. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, p. 1262-1269, 2009.
- TABARY, Lou et al. Tomato trichomes: trade-off between plant defenses against pests and benefits for biological control agents. **Acarologia**, v. 64, n. 4, p. 1232-1253, 2024.
- TAMBURINO, R. et al. Cultivated tomato (*Solanum lycopersicum* L.) suffered a severe cytoplasmic bottleneck during domestication: implications from chloroplast genomes. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1443, 2020.
- TERENCIANO, R. M. et al. Direct defense of *Solanum lycopersicum* L. to *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) mediated by plant morphological and chemical traits. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 19, n. 1, p. 24, 2025.
- VENDEMIATTI, E. et al. The genetic complexity of type-IV trichome development reveals the steps towards an insect-resistant tomato. **Plants**, v. 11, n. 10, p. 1309, 2022.
- VENDEMIATTI, E. et al. Introgression of type-IV glandular trichomes from *Solanum galapagense* to cultivated tomato reveals genetic complexity for the development of acylsugar-based insect resistance. **bioRxiv**, p. 2021.06. 18.448858, 2021..
- WAKIL, W. et al. The inevitable fate of *Tetranychus urticae* on tomato plants treated with entomopathogenic fungi and spinosad. **Journal of Fungi**, v. 11, n. 2, p. 138, 2025.
- WANG, F.; PARK, Y.; GUTENSOHN, M. Glandular trichome-derived sesquiterpenes of wild tomato accessions (*Solanum habrochaites*) affect aphid performance and feeding behavior. **Phytochemistry**, v. 180, p. 112532, 2020.
- WEINBLUM, N. et al. Tomato cultivars resistant or susceptible to spider mites differ in their biosynthesis and metabolic profile of the monoterpenoid pathway. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 630155, 2021.
- WU, W. et al. Light regulates the synthesis and accumulation of plant secondary metabolites. **Frontiers in Plant Science**, v. 16, p. 1644472, 2025.
- YAN, Y. et al. Light quality regulates plant biomass and fruit quality through a photoreceptor-dependent HY5-LHC/CYCB module in tomato. **Horticulture Research**, Oxford, v. 10, n. 12, p. uhda219, 2023.

ZANIN, D. S. et al. Selection of processing tomato genotypes resistant to two spotted spider mite. **Horticultura Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 271-275, 2018.

ZHANG, Qian et al. Unveiling multi-pesticide resistance and RNAi effectiveness in field populations of *Tetranychus urticae* (Koch). **Pest Management Science**, 2025.

APÊNDICE A

Quadro 1 – Descrição dos genótipos de tomateiro quanto à homozigose ou heterozigose dos alelos de resistência (*Mi*, *Ty-1*, acilaçúcar e zingibereno).

Genótipo	Mi		<i>Ty-1</i>		Acilaçúcar		Zingibereno	
	+/+	+/-	+/+	+/-	+/+	+/-	+/+	+/-
(T01) – TOM-723 x TOM-768	-	-	-	-	-	-	-	-
(T02) – TOM-723	-	-	-	-	-	-	-	-
(T03) – TOM-768	-	-	-	-	-	-	-	-
(T04) – TOM-724 x TOM-768	-	Sim	-	-	-	-	-	-
(T05) – TOM-804 x TOM-768	-	Sim	-	-	-	-	-	-
(T06) – TOM-723 x TOM-811	-	-	-	-	-	Sim	-	-
(T07) – TOM-723 x TOM-812	-	-	-	-	-	Sim	-	-
(T08) – BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-768	-	-	-	-	-	Sim	-	-
(T09) – TOM-795 x TOM-768	-	Sim	-	Sim	-	-	-	-
(T10) – TOM-804	Sim	-	-	-	-	-	-	-
(T11) – TOM-724	Sim	-	-	-	-	-	-	-
(T12) – TOM-700	Sim	-	-	-	-	-	-	-
(T13) – TOM-684	Sim	-	-	-	-	-	-	-
(T14) – TOM-760 x TOM-723	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T15) – TOM-724 x TOM-811	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T16) – TOM-804 x TOM-811	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T17) – TOM-724 x TOM-812	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T18) – TOM-804 x TOM-812	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T19) – BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-700	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T20) – BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-684	-	Sim	-	-	-	Sim	-	-
(T21) – TOM-760 x TOM-724	Sim	-	-	-	-	Sim	-	-

Continua...

Continuação.

Genótipo	Mi		Ty-1		Acilaçúcar		Zingibereno	
	+/+	+/-	+/+	+/-	+/+	+/-	+/+	+/-
(T22) – TOM-795 x TOM-700	Sim	-	-	Sim	-	-	-	-
(T23) – TOM-795 x TOM-684	Sim	-	-	Sim	-	-	-	-
(T24) – BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-811	-	-	-	-	Sim	-	-	-
(T25) – BPX-466F-174-01-05-108-05 x TOM-812	-	-	-	-	Sim	-	-	-
(T26) – TOM-811	-	-	-	-	Sim	-	-	-
(T27) – TOM-812	-	-	-	-	Sim	-	-	-
(T28) – BPX-466F-174-01-05-108-05	-	-	-	-	Sim	-	-	-
(T29) – TOM-760 x TOM-811	-	Sim	-	-	Sim	-	-	-
(T30) – TOM-777 x TOM-811	-	Sim	-	-	Sim	-	-	-
(T31) – TOM-760 x TOM-812	-	Sim	-	-	Sim	-	-	-
(T32) – TOM-780 x TOM-811	-	-	-	-	Sim	-	-	Sim
(T33) – TOM-780 x TOM-812	-	-	-	-	Sim	-	-	Sim
(T34) – TOM-795 x TOM-811	-	Sim	-	Sim	-	Sim	-	-
(T35) – TOM-795 x TOM-812	-	Sim	-	Sim	-	Sim	-	-
(T36) – TOM-795 x BPX-466F-174-01-05-108-05	-	Sim	-	Sim	-	Sim	-	-
(T37) – TOM-760	Sim	-	-	-	Sim	-	-	-
(T38) – TOM-777	Sim	-	-	-	Sim	-	-	-
(T39) – TOM-780	-	-	-	-	Sim	-	Sim	-
(T40) – TOM-795	Sim	-	Sim	-	-	-	-	-
(T41) – Paipai	*	Sim (*)	*	*	*	*	*	*
(T42) – <i>S. pennellii</i> LA-716	-	-	*	*	Sim	*	*	*

+/+ = homozigoto; +/- = heterozigoto; Sim(*) = resistência relatada, mas sem informação sobre homozigose/heterozigose; * = ausência de informação.