

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ANA KAROLINE SILVA ROCHA DE FARIAS

Novos insights sobre o uso de tomateiros anões para resistência a insetos-praga

Uberlândia

2024

ANA KAROLINE SILVA ROCHA DE FARIAS

Novos insights sobre o uso de tomateiros anões para resistência a insetos-praga

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Silva Siquieroli

Uberlândia

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

F224n
2024 Farias, Ana Karoline Silva Rocha de, 1996-
Novos insights sobre o uso de tomateiros anões para resistência a insetos-praga [recurso eletrônico] / Ana Karoline Silva Rocha de Farias. - 2024.

Orientadora: Ana Carolina Silva Siquieroli.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-graduação em Agronomia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.5054>
Inclui bibliografia.
Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. Siquieroli, Ana Carolina Silva, 1982-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-graduação em Agronomia. III. Título.

CDU: 631

André Carlos Francisco
Bibliotecário Documentalista - CRB-6/3408

ANA KAROLINE SILVA ROCHA DE FARIAS

Novos insights sobre o uso de tomateiros anões para resistência a insetos-praga

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ana Carolina Silva Siquieroli

Uberlândia, 29 de fevereiro de 2024

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a. Ana Carolina Silva Siquieroli (IBTEC-UFU)

Prof.^a Dr.^a. Franscinely Aparecida de Assis (UniCerrado)

Prof. Dr. Gabriel Mascarenhas Maciel (ICIAG-UFU)

Prof. Dr. Luciano Donizete Gonçalves (IFMG-CAMPUS BAMBUÍ)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Secretaria da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia
Rodovia BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP
38400-902
Telefone: (34) 2512-6715/6716 - www.ppgagro.iciag.ufu.br - posagro@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agronomia				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 004/2024, PPGAGRO				
Data:	Vinte e nove de fevereiro de dois mil e vinte e quatro	Hora de início:	14:00	Hora de encerramento:	16:40
Matrícula do Discente:	12122AGR001				
Nome do Discente:	Ana Karoline Silva Rocha de Farias				
Título do Trabalho:	Novos insights sobre o uso de tomateiro anão para resistência a insetos-praga				
Área de concentração:	Produção vegetal				
Linha de pesquisa:	Melhoramento de Plantas				

Reuniu-se por videoconferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agronomia, assim composta: Professores Doutores: Gabriel Mascarenhas Maciel - UFU; Franscinely Aparecida de Assis - UniCerrado; Luciano Donizete Gonçalves - IFMG; Ana Carolina Silva Siquieroli - UFU orientador do(a) candidato(a).

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

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada.

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

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

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

Dedico este trabalho a minha filha, e meu
esposo pelo amor e carinho incondicional.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, meu Senhor, por ter me abençoado e me guiado a cada instante dessa conquista. Por todas as bênçãos recebidas e por me dar forças para continuar, e aumentar ainda mais a minha fé.

Dedico esse trabalho a minha pequena, que me acompanhou a cada viagem, a cada matéria, e desde então sempre comigo fazendo com que a cada sentimento de desânimo, eu me tornasse mais forte, me dando forças para continuar.

Ao meu amado esposo e companheiro de vida, obrigada pelo zelo e carinho, por acreditar em mim, mesmo quando eu mesma duvidava. Gostaria de dizer que você estava certo, e que tudo deu certo, conseguimos.

Em especial, aos meus pais que sempre acreditaram em mim, torcendo sempre para o meu sucesso, minha irmã por todas as conversas e palavras de carinho, meu sogro e minha sogra por todo o apoio nas viagens e na vida, minhas cunhadas que sempre estiveram torcendo e apoiando no que precisasse, gostaria de dizer o quanto sou grata por cada um de vocês estarem presentes em todos os instantes.

Às minhas amigas que o mestrado me proporcionou, Viviane, Me. Ana Luísa, que sempre estiveram ao meu lado, me ajudando desde as matérias, as análises e finalização deste trabalho, além da Dra. Camila, técnica do laboratório. Obrigada meninas pelo carinho e companheirismo, vocês foram fundamentais nesta jornada, minha eterna gratidão.

A secretaria e coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da UFU, que sempre tiraram todas as minhas dúvidas, indicando sempre o melhor caminho a seguir.

Aos professores membros da banca, Dr. Gabriel Maciel Mascarenhas pelo apoio na execução das análises, na escrita e em todas as correções, juntamente com a Dra. Franscinely, Dra. Vanessa Andaló e Dr. Luciano meus sinceros agradecimentos.

À minha querida orientadora, Dra. Ana Carolina Siquieroli, minha eterna gratidão, por acreditar em mim, por não ter me deixado desistir, por ver forças até onde eu achava que não tinha, obrigada por tudo.

Meus agradecimentos ao Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT), aos docentes e técnicos da UFU, campus Monte Carmelo, por todo o apoio e aprendizado.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Universidade Federal de Uberlândia por proporcionar a base e o suporte necessários para a minha formação.

BIOGRAFIA

Ana Karoline Silva Rocha de Farias nasceu no dia 08 de novembro de 1996, no município de Iturama-MG. Em 2021 concluiu o curso de Biologia na Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Campus Iturama (UFTM-ITU). No mesmo ano ingressou no Programa de Pós-graduação em Agronomia-UFU (PPGAGRO), se tornando membro do Grupo de Estudos em Melhoramento Genético de Hortaliças (GEN-HORT), sobre a orientação da Prof.^a Dr.^a Ana Carolina Silva Siquieroli.

RESUMO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L), pertencente à família Solanaceae, assume um papel de considerável importância socioeconômica em escala global. O aumento na presença de insetos-praga tem causado prejuízos consideráveis aos produtores. A investigação de cultivares mais resistentes a esses insetos tem sido objeto de estudo em programas de melhoramento genético, envolvendo a introgressão de genes de resistência provenientes de linhagens selvagens de tomateiro. Existem lacunas quanto à utilização de germoplasma de porte anão para conferir resistência a pragas, destacando-se, em particular, o potencial da linhagem UFU MC TOM 1. O objetivo do trabalho foi selecionar populações de retrocruzamentos provenientes de tomateiro de porte anão para resistência a *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) e a *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard, 1926), a partir da seleção direta (injúrias nas folhas e folíolos) e indireta (teores de acilacúcares), visando um background genético de interesse. O experimento foi conduzido em vasos de 5L mantidos em casa de vegetação, em delineamento de blocos casualizados (DBC), composto por 20 tratamentos distribuídos em quatro blocos, totalizando 80 parcelas. Foram avaliadas 17 populações oriundas do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamentos (RC₁, RC₂ e RC₃), o genitor doador UFU MC TOM 1, o genitor recorrente UFU TOM 5 e o híbrido comercial cv. Vivacy. Foram conduzidas análises para quantificar os teores de acilacúcares, avaliar injúrias na planta e nos folíolos e analisar a herbivoria por meio de imagem. Após a seleção de interesse foi realizada análise cromatográfica e determinado o perfil metabólico nos folíolos do genitor doador UFU MC TOM 1. A população de plantas de porte anão UFU 13_1 revela-se promissora para impulsionar programas de melhoramento genético, especialmente no que diz respeito à resistência a pragas. O progresso alcançado nas gerações de retrocruzamentos resultou em variações significativas nos níveis de resistência, possivelmente influenciados pela herança genética e pela ação dos acilacúcares. A linhagem UFU MC TOM 1, caracterizada por elevados teores de acilacúcares, demonstrou resistência consistente à traça-do-tomateiro e à minadora em todas as avaliações conduzidas. Além disso, nos folíolos dessa linhagem foram identificadas expressões elevadas de metabólitos como glicose, lisina, mio- inositol e ácido aspártico. Essas descobertas abrem perspectivas promissoras para futuras pesquisas direcionadas à resistência contra diversos tipos de estresses, tanto bióticos quanto abióticos.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; produção sustentável; metabólica; melhoramento genético; antixenose; insecta.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L), belonging to the Solanaceae family, plays a role of considerable socioeconomic importance on a global scale. The increase in the presence of insect pests has caused considerable losses to producers. The investigation of cultivars that are more resistant to these insects has been the subject of study in genetic improvement programs, involving the introgression of resistance genes from wild tomato lines. There are gaps regarding the use of dwarf germplasm to confer resistance to pests, highlighting, in particular, the potential of the UFU MC TOM 1 lineage. The objective of the study was to select backcross populations from dwarf tomato plants for resistance to *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917) and *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard, 1926), based on direct selection (injuries on leaves and leaflets) and indirect selection (acylsugar levels), aiming at a genetic background of interest. The experiment was conducted in 5L pots kept in a greenhouse, in a randomized block design (DBC), consisting of 20 treatments distributed in four blocks, totaling 80 plots. Seventeen populations were evaluated from the first, second and third backcrosses (BC1, BC2 and BC3), the donor parent UFU MC TOM 1, the recurrent parent UFU TOM 5 and the commercial hybrid cv. Vivacy. Analyses were carried out to quantify the acylsugar levels, evaluate injuries to the plant and leaves and analyze herbivory using images. After the selection of interest, chromatographic analysis was carried out and the metabolomic profile was determined in the leaves of the donor parent UFU MC TOM 1. The population of dwarf plants UFU 13_1 shows promise for boosting genetic improvement programs, especially with regard to pest resistance. The progress achieved in generations of backcrossing resulted in significant variations in resistance levels, possibly influenced by genetic inheritance and the action of acylsugars. The UFU MC TOM 1 line, characterized by high levels of acylsugars, demonstrated consistent resistance to tomato moth and leaf miner in all evaluations conducted. Furthermore, in the leaves of this lineage, high expressions of metabolites such as glucose, lysine, myo-inositol and aspartic acid were identified. These findings open promising perspectives for future research aimed at resistance against various types of stresses, both biotic and abiotic.

Keywords: *Solanum lycopersicum* L.; sustainable production; metabolomics; genetic improvement; antixenosis; insecta.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	MATERIAL E MÉTODOS	15
2.1	Obtenção de populações de retrocruzamentos em tomateiro anão.....	15
2.2	Quantificação dos teores de açúcares.....	17
2.3	Injúrias em tomateiro de porte anão submetido à infestação com atraça-do- tomateiro e mosca-minadora	18
2.4	Análise cromatográfica e perfil metabolômico.....	20
2.5	Análise estatística.....	21
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4	CONCLUSÕES.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Entre as diversas espécies cultivadas, o tomateiro *Solanum lycopersicum* L. (Solanaceae) é o segundo vegetal não amiláceo mais consumido e cultivado no mundo (Caballero; Finglas; Toldra, 2016). No setor agrícola global, esta espécie é considerada de alta importância econômica (Ronga *et al.*, 2021). O Brasil é o nono maior produtor com produção de 3,6 milhões de toneladas sendo cultivados em 51,9 mil hectares (FAOSTAT, 2023). Apesar de todo potencial econômico, o tomateiro está continuamente exposto a diversos tipos de estresse biótico (Li *et al.*, 2023), especialmente em relação ao ataque de insetos- pragas (Oliveira *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023; Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023). Entre os principais insetos fitófagos que ocorrem durante o cultivo tem se destacado a traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), que pode causar diversas injúrias às plantas como minagem nas folhas. Suas larvas podem penetrar nos frutos em desenvolvimento, causando perfurações e galerias dentro da polpa. Esse tipo de broqueamento prejudica a qualidade dos frutos, tornando-os inadequados para o consumo humano. Outro destaque é para a mosca-minadora *Liriomyza huidobrensis* (Blanchard) (Diptera: Agromyzidae), que mina as folhas, interferindo diretamente na atividade fotossintética. Além do Brasil, estas pragas afetam cultivos em diversas regiões do mundo (Biondi *et al.*, 2018; Verheggen e Fontus, 2019).

Ainda no século XXI, a principal forma de controle desses insetos-praga é a utilização de defensivos agrícolas (Pratissoli *et al.*, 2015). Porém, para buscar o rápido efeito inseticida, esses produtos são frequentemente utilizados em larga escala, o que tem causado danos irreversíveis ao ser humano e ao meio ambiente (Fornazier; Pratissoli; Martins, 2010; Jafiret al., 2023).

Nesse contexto, é evidente que a sociedade busque por métodos sustentáveis de cultivo, refletindo em um crescente interesse em escolhas alimentares mais saudáveis, incentivada pela Organização das Nações Unidas (ONU) a partir dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (ONU, 2023). Assim, as cultivares resistentes, que devido a sua constituição genotípica são menos danificadas do que outras em igualdade de condições (Rosseto, 1973), podem se constituir em alternativa viável no intuito de reduzir a utilização de inseticidas sintéticos, bem como a degradação ambiental.

Assim, os pesquisadores têm dedicado esforços à busca por variedades de tomateiro resistentes. Dentre os tipos de resistência, destaca-se a antixenose, que se refere a um tipo de resistência em plantas que se manifesta como a não-preferência de herbívoros por determinados genótipos, sendo suscetível a influências por fatores físicos, como a cor do substrato; morfológicos, como a presença abundante de tricomas; e químicos, como a presença de acilaçúcar. A resistência a pragas é abordada principalmente pela quantificação de aleloquímicos, que são compostos químicos produzidos por plantas, microrganismos ou outros organismos, que afetam o crescimento, desenvolvimento ou comportamento de outros seres vivos. Essas substâncias, ao serem liberadas no ambiente, podem ter efeitos tanto positivos quanto negativos, influenciando frequentemente as plantas ou organismos circundantes. No caso específico do tomateiro, os acilaçúcares destacam-se como o aleloquímico mais estudado nesse contexto. (Maluf *et al.*, 2010; Maciel *et al.*, 2018; Peixoto *et al.*, 2020; Resende *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023; Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023).

A existência de acilaçúcar nos folíolos das plantas desempenha um papel fundamental na resistência a pragas e patógenos em várias frentes. Essa presença contribui para uma ampla gama de resistência a pragas (Maluf *et al.*, 2010) pelos efeitos deletérios no desenvolvimento do inseto, redução da sua oviposição e alimentação (Lucini *et al.*, 2015; Maciel *et al.*, 2018) e possibilita um sistema de dupla proteção para a planta quando associado com genes de resistência a viroses. A resistência mediada pelos acilaçúcares representa uma característica quantitativa complexa e poligênica (Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023).

A introgressão da resistência a pragas em tomateiro tem sido realizada majoritariamente a partir do acesso silvestre *Solanum pennellii* (Maluf *et al.*, 2010; Maciel *et al.*, 2018; Peixoto *et al.*, 2020; Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023). No entanto, *S. pennellii* é uma planta fora do padrão comercial e com frutos pequenos (Talekar; Openã; Hanson, 2006). Outro entrave na utilização de espécies silvestres do gênero *Solanum* está relacionado com barreiras reprodutivas intra e interespecíficas (Chakraborty; Dutta; Das, 2023). Quando há compatibilidade de cruzamentos a introgressão da resistência é realizada via sucessivos retrocruzamentos e implica em maior período para execução dos programas de melhoramento (Gonçalves Neto *et al.*, 2010).

Outra forma para realizar a introgressão da resistência a pragas em tomateiro tem sido a partir do uso de um parental anão. Há relatos que genótipos de tomateiro de porte anão são ricos em acilaçúcares nos folíolos permitindo uma forma indireta de seleção (Finzi *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2021; Finzi *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023).

As pesquisas têm revelado que a altura das plantas, especialmente no contexto do tomateiro é influenciada pela interação complexa de fitohormônios. Essas substâncias químicas, naturalmente produzidas pela planta, desempenham um papel crucial no controle do crescimento e desenvolvimento vegetal. Estudos realizados por Wang *et al.*, (2017) e Liu *et al.*, (2020) têm contribuído para essa compreensão, destacando a importância desses fitohormônios.

Quando se trata da herança do porte anão, uma característica estudada na linhagem UFU MC TOM 1, os pesquisadores descobriram que ela segue um padrão monogênico recessivo. Isso significa que a característica de porte anão é determinada por um único gene, e esse gene precisa ser herdado de ambos os pais para que o porte anão seja expresso. Essa herança recessiva permite a obtenção de híbridos de porte normal, caso um dos pais doe o gene de porte normal. Esses achados, como descritos por Maciel, Silva e Fernandes em 2015, contribuem significativamente para a compreensão da genética envolvida na determinação do porte das plantas de tomateiro.

Apesar do potencial do uso do tomateiro anão, existem lacunas a respeito da utilização de germoplasma deste porte visando resistência a pragas, especialmente em relação a linhagem UFU MC TOM 1 e a existência de outros compostos de interesse nos folíolos. Adicionalmente, não é sabido a consequência de se avançar três retrocruzamentos visando um background genético em relação à resistência a pragas ao utilizar um parental anão.

Com base nas informações apresentadas, o objetivo deste estudo foi selecionar populações de retrocruzamento provenientes de tomateiro anão para resistência a *Tuta absoluta* e a *Liriomyza huidobrensis*, a partir da seleção direta (injúrias nas folhas e folíolos) e indireta (teores de acilaçúcares), visando um background genético de interesse.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Obtenção de populações de retrocruzamentos em tomateiro anão

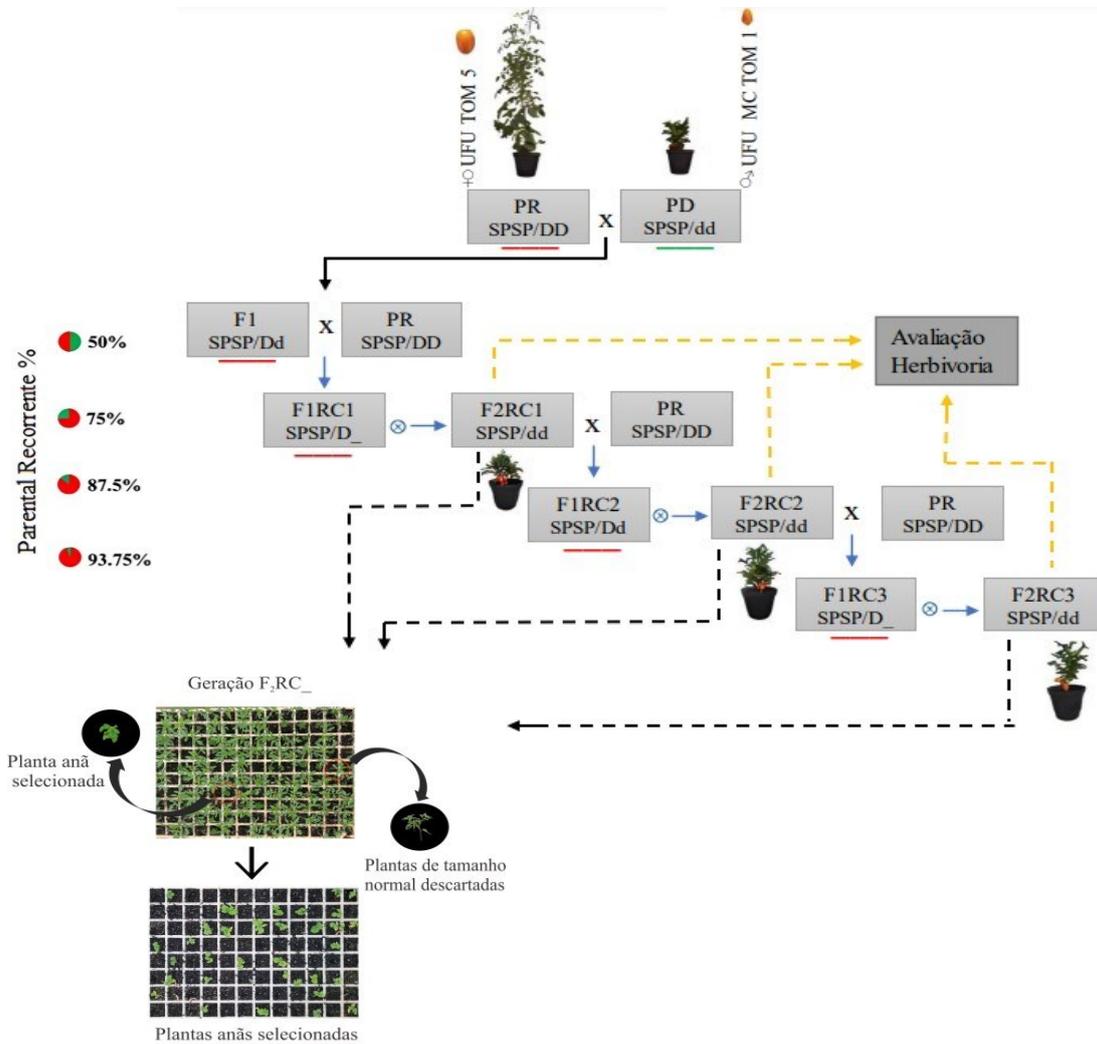
As etapas para obtenção dos genótipos e o experimento para avaliação da resistência a pragas foram realizados entre 2018 à 2021 na Estação Experimental de Hortaliças da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Campus Monte Carmelo (MG), localizada nas coordenadas geográficas de 18°42'43,19" S, 47°29'55,8" O e altitude de 873 m.

Todas as etapas foram realizadas em casa de vegetação do tipo arco (7 x 21 m), com pé direito de 4 metros, coberta com filme de polietileno transparente de 150 micras aditivado contra raios ultravioleta e cortinas laterais de tela branca antiafídeo.

As populações de tomateiro de porte anão utilizadas são provenientes das linhagens UFU MC TOM 1 (Maciel *et al.*, 2015) e UFU TOM 5 que pertencem ao banco de germoplasma da UFU. A linhagem UFU TOM 5 foi utilizada como parental feminino ♀. É uma linhagem homozigota, pré-comercial, porte normal (gene *dwarfDD*), hábito de crescimento indeterminado (*SPSP*) com boas características agronômicas e frutos do tipo Saladete (genitor recorrente com boas características agronômicas). A linhagem UFU MC TOM 1 (genitor doador para porte anão e rica em acilaçúcares nos folíolos) foi utilizada como parental masculino ♂. É uma linhagem homozigota de porte anão (gene *dwarf dd*), hábito de crescimento indeterminado (*SPSP*), porém com frutos muito pequenos do tipo minitomate (Maciel; Silva; Fernandes, 2015; Finzi *et al.*, 2017).

Após a obtenção da geração F_1 (UFU TOM 5♀ *versus* UFU MC TOM 1♂) foi realizado o primeiro retrocruzamento (F_1RC_1), seguido de uma autofecundação, obtendo a geração F_2RC_1 (RC_1). Plantas anãs foram selecionadas da geração F_2RC_1 e realizado o segundo retrocruzamento (F_1RC_2), seguido de uma autofecundação, obtendo a geração F_2RC_2 (RC_2). Plantas anãs foram selecionadas da geração F_2RC_2 e realizado o terceiro retrocruzamento (F_1RC_3), seguido de uma autofecundação, obtendo a geração F_2RC_3 (RC_3). Nas gerações F_2RC_1 , F_2RC_2 e F_2RC_3 foram selecionadas apenas plantas de porte anão (Figura 1) com background genético de frutos do tipo Saladete.

Figura 1 - Etapas para obtenção das populações F2RC1, F2RC2 e F2RC3 de tomateiro avaliadas no experimento.



Fonte: Os autores, 2023.

As 17 populações de plantas selecionadas provenientes dos retrocruzamentos RC1, RC2, RC3 estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Populações provenientes dos retrocruzamentos RC1, RC2, RC3 de tomateiro avaliadas no experimento.

	Retrocruzamentos		
	RC1	RC2	RC3
Populações	UFU_4_3	UFU_4_6_1	UFU_4_6_1_1
	UFU_10_4	UFU_10_4_5	UFU_10_4_5_5
	UFU_13_1	UFU_13_1_2	UFU_10_4_5_1
	UFU_17_6	UFU_17_6_1	UFU_10_4_5_4
			UFU_13_1_2_1
			UFU_13_1_2_2
			UFU_17_4_1_1
			UFU_17_6_1_2
			UFU_17_6_1_3

Fonte: A autora, 2023.

O genitor doador UFU MC TOM 1, o genitor recorrente UFU TOM 5 e o híbrido comercial cv. Vivacy foram adicionados nas avaliações como parâmetro de comparação. Assim, o experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), totalizando 20 tratamentos, dispostos em quatro blocos, 80 parcelas, sendo que cada parcela foi composta por seis plantas, totalizando 480 plantas.

A sementeira foi realizada em 01 de julho de 2021 em bandejas de polietileno contendo 200 células preenchidas com substrato a base de fibra de coco. Aos 35 dias após o semeio (DAS) realizou-se o transplântio das mudas para vasos de 5L contendo o mesmo substrato utilizado na sementeira. Os tratamentos culturais foram realizados conforme preconizado para cultura do tomateiro (Alvarenga, 2013). Não foi realizada aplicação de inseticidas durante o experimento.

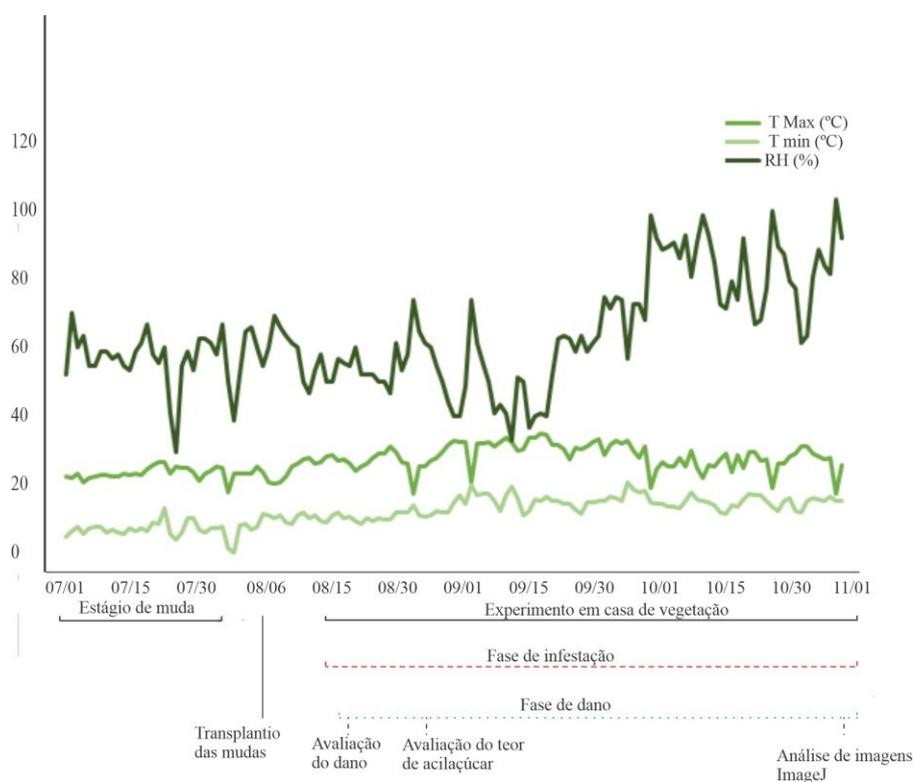
2.2 Quantificação dos teores de açúcares

A análise dos teores de açúcares (nmol cm^{-2} de área foliar) foi realizada 20 dias após o transplântio das mudas, utilizando oito discos foliares (equivalentes a $4,2 \text{ cm}^2$) do terço superior de cada planta da parcela seguindo a metodologia proposta por Resende *et al.*, (2002), com adaptações de Maciel e Silva (2014).

2.3 Injúrias em tomateiro de porte anão submetido à infestação com atraça-do-tomateiro e mosca-minadora

As mesmas plantas utilizadas para quantificação dos teores de açúcares foram avaliadas quanto a herbivoria de *T. absoluta* e *L. huidobrensis*. As temperaturas máximas e mínimas, e a umidade relativa do ar (UR) foram registradas durante o período de infestação das plantas até o último dia de avaliação, utilizando dados obtidos da Estação Meteorológica da Cooxupé (Figura 2).

Figura 2 - Condições climáticas durante à execução do experimento com indicação do período de infestação das plantas de tomateiro e quantificação dos teores de açúcares. Temperatura máxima (T Max), temperatura mínima (T Min) e Umidade Relativa (UR).

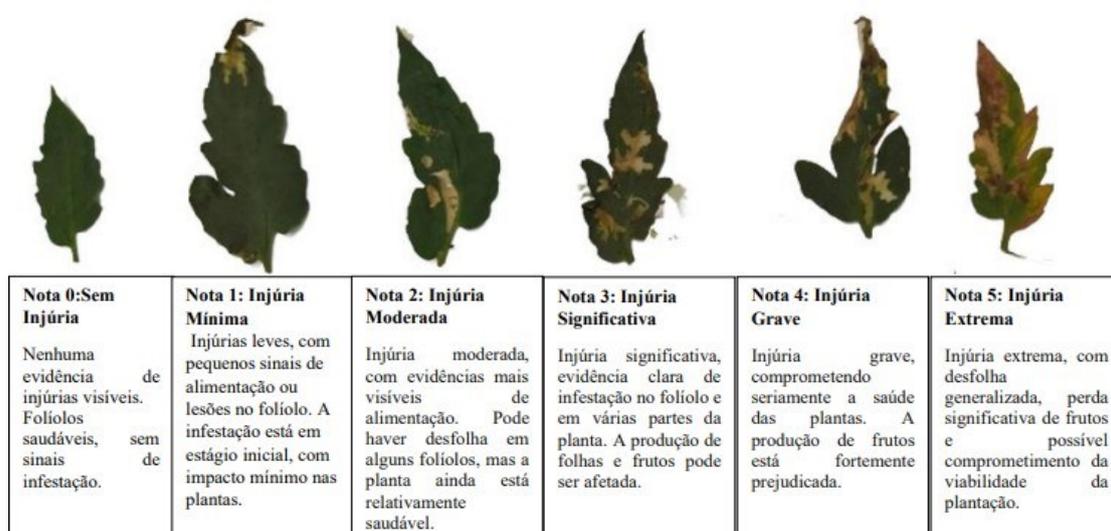


Fonte: Os autores, 2023.

A infestação foi estabelecida 14 dias após o transplântio com a introdução de cinco vasos contendo plantas da cv. Santa Clara infestadas com *T. absoluta* e *L. huidobrensis* provenientes de uma criação previamente estabelecida. Decorridos oito dias após a

infestação, foram realizadas sete avaliações em intervalos de dois dias, nas quais foram atribuídas notas para as injúrias nos folíolos causados por *T. absoluta*. Foram observados túneis (minas) nas folhas alimentando-se do tecido vegetal que se apresentam como trilhas esbranquiçadas ou acastanhadas nas folhas (Oliveira *et al.*, 2012). Ao final das sete avaliações as notas foram somadas e obtido o valor total de cada parcela. As plantas foram individualmente avaliadas quanto aos níveis de injúrias na planta e nos folíolos de acordo com escalas de notas de 1 a 5, onde 1 indica menor nível de dano e 5 maior nível de dano (Figura 3), conforme proposto por Maluf; Barbosa; Santa-Cecília (1997) e Labory *et al.* (1999).

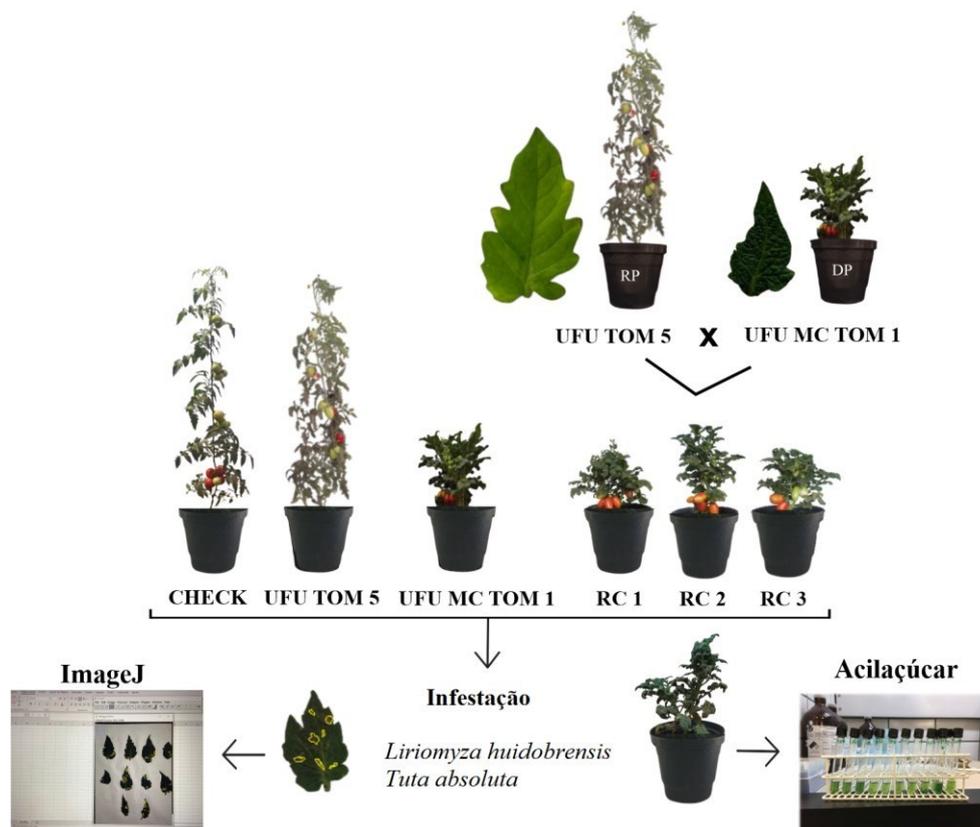
Figura 3 - Níveis de injúrias nos folíolos de acordo com escalas de notas de 1 a 5, onde 1 indica menor nível de dano e 5 maior nível de dano.



Fonte: A autora, 2023.

Após o término das avaliações por notas realizou-se o cálculo da área de herbivoria causada por *T. absoluta* e *L. huidobrensis* com o auxílio do software para processamento e análise de imagens ImageJ (Schneider; Rasband; Eliceiri, 2012). Para obtenção da média em cada parcela do experimento foram escaneados dez folíolos do terço superior da planta. Todas as etapas do experimento podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma contendo as etapas do experimento. RP= parental recorrente (UFU TOM 5) e DP= parental doador (UFU MC TOM 1). RC₁, RC₂, RC₃: populações do primeiro, segundo e terceiro retrocruzamentos.



Fonte: Os autores, 2023.

2.4 Análise cromatográfica e perfil metabólico

Amostras de seis folíolos foram coletadas da porção média das plantas de UFU MC TOM1 e trituradas com nitrogênio líquido em almofariz e pilão até a obtenção de um pó fino. Desse pó, 100 mg foram transferidos para microtubos Eppendorf e misturados com 2 mL de uma solução extratora composta por metanol (MeOH), clorofórmio (CHCl₃) e água ultrapura (na proporção 3:1:1), contendo 50 µL/ mL de Adonitol Purex como padrão interno. As amostras foram agitadas por 5 segundos usando um agitador vórtex e deixadas em repouso por 1 minuto. Posteriormente, 1 mL do sobrenadante foi transferido para um novo microtubo e misturado com 300 µL de hexano (P.A.). As amostras foram deixadas por 3 minutos e em seguida foram coletados 500 µL das porções intermediárias e colocados em microtubos para secagem em concentrador a 40 °C por 24 horas. Às amostras secas foram adicionados 50 µL de cloridrato de metoxiamina diluído

empiridina (20 mg/mL) a 37 °C. Após 2 horas foram adicionados 50 µL de BSTFA (Bis(trimetilsilil)trifluoroacetamida) e as amostras foram mantidas a 37 °C por 30 minutos. As alíquotas derivatizadas foram transferidas para frascos de 2 mL com insertos redutores de volume de 200 µL para análise cromatográfica.

A análise foi realizada por cromatografia gasosa-espectrometria de massa (GCMS-QP2010, Shimadzu, Kyoto, Japão), utilizando uma coluna capilar DB-5MS (30 m × 250 µm de diâmetro interno). A temperatura de injeção da amostra utilizada foi de 250 °C. A separação cromatográfica foi realizada com temperatura inicial da coluna de 80 °C mantida por 2 minutos e depois aumentada a uma taxa de 5 °C/min até 250 °C. Essa temperatura final foi mantida por 5 minutos, com fluxo constante de gás hélio a 1,0 mL/min. O volume de injeção foi de 1 µL com uma proporção de divisão de 10:1. Os espectros de massa foram varridos na faixa de 40 a 650 m/z no modo de varredura completa, a 5 varreduras por segundo. Aplicou-se um ponto de corte de solvente de 3 minutos, considerando o tempo de retenção da piridina utilizada na etapa de derivatização. As temperaturas da interface e da fonte de íons utilizadas foram de 280°C. A tensão do detector foi ajustada em 1,2 kV, e o modelo de ionização por impacto eletrônico (EI) foi selecionado para ionização de metabólitos a 70 eV. Um padrão de alcanos (C9-C30) foi utilizado para controle de qualidade e cálculos de índice de retenção. A identificação do(s) composto(s) foi realizada usando a Biblioteca Espectral de Massa do NIST 2017, com foco em compostos com acertos superiores a 85% de similaridade e valores m/z correspondentes.

2.5 Análise estatística

As pressuposições estatísticas foram verificadas pelas análises de normalidade (Teste de Lilliefors), homogeneidade (Teste Oneill- Matheus) e aditividade (Tukey). Com exceção da variável acilúcares, as demais foram transformadas em $\sqrt{x} + 1$, a fim de atender as pressuposições. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$) e pelo teste Dunnett ($p < 0,05$), sendo a cv. comercial Vivacy considerada testemunha para fins de comparação.

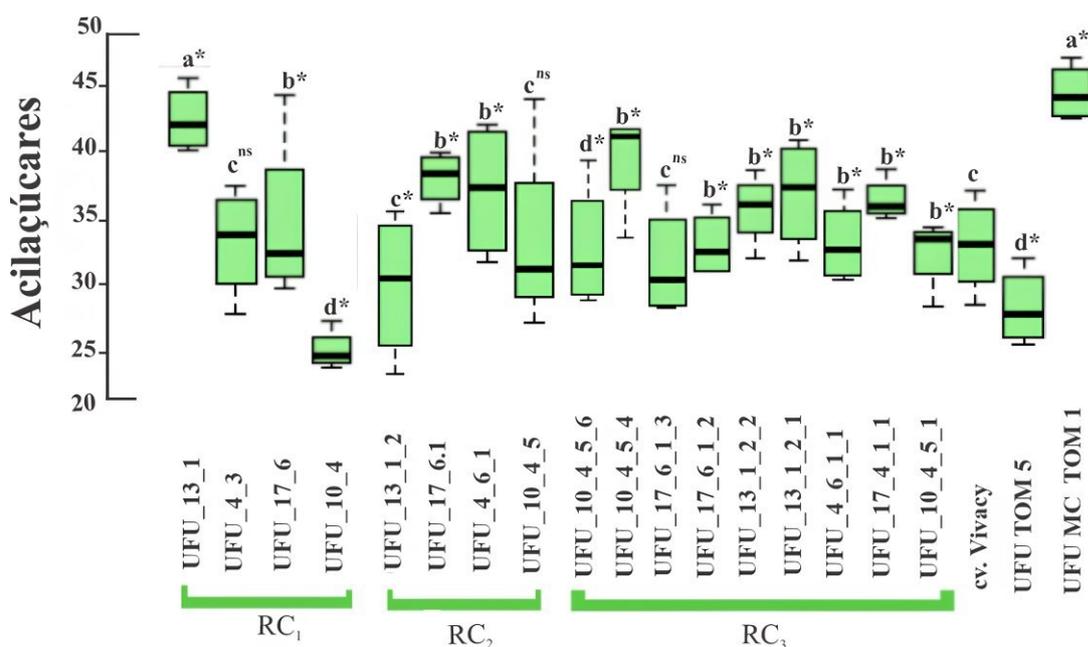
A dissimilaridade genética entre as populações de plantas foi obtida a partir da matriz de distância generalizada de Mahalanobis D^2 , sendo representada por um dendrograma e mapa de calor obtido por meio das máximas e mínimas distâncias. As análises estatísticas foram realizadas por meio dos softwares GENES (Cruz, 2013) e R (R Core Team, 2021).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante a realização do experimento foi observada temperatura mínima de 9°C e máxima de 38°C. A umidade relativa do ar variou entre 36 e 98% (Figura 2). Os elementos climáticos estão relacionados como um dos principais fatores que regulam as populações de insetos (Galdino *et al.*, 2011). Neste trabalho, conforme apresentado, foi possível afirmar que as condições climáticas foram favoráveis para o desenvolvimento das pragas, pois a média da temperatura e umidade relativa do ar durante as avaliações foi de 30,61°C e 63,75 % UR.

Após realizar a quantificação dos teores de acilaçúcares nos folíolos de tomateiro observou-se diferença significativa entre os tratamentos. Ficou evidente que a linhagem UFU MC TOM 1 é rica em acilaçúcares, pois se diferenciou significativamente da testemunha comercial (cv. Vivacy) e genitor recorrente (UFU TOM 5) (Figura 5).

Figura 5 - Teores de acilaçúcares (nmol cm⁻² de área foliar) nos folíolos de tomateiro. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, $p < 0,05$. * significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnett, $p < 0,05$ em relação à cv. Vivacy.



Fonte: Os autores, 2023.

O potencial uso da linhagem de porte anão UFU MC TOM 1 para introgressão de genes de resistência a pragas, especialmente aqueles mediados por acilaçúcares, já foi

elucidado em outros estudos (Gomes *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023). Os resultados obtidos na presente pesquisa confirmaram o potencial da linhagem UFU MC TOM 1. Ademais, é importante ressaltar que UFU MC TOM 1 foi similar ao acesso silvestre *S. pennellii* em relação aos teores de acilaçúcares nos folíolos em pesquisas realizadas por Finzi *et al.* (2022).

Em relação à desenvolvimento das populações RC1, RC2 e RC3, provenientes do cruzamento de UFUTOM5♀ versus UFU MC TOM 1♂, foi possível verificar populações promissoras. No primeiro retrocruzamento entre as quatro populações avaliadas, duas se destacaram para teores de acilaçúcares (UFU_13_1 e UFU_17_6, com 44,07 e 34,31 nmol cm⁻² de área foliar, respectivamente), sendo 60,07 e 24,62 % superiores em relação ao genitor recorrente (UFU TOM 5) e 32,09 e 6,89 % em relação a cultivar comercial (cv. Vivacy) se diferenciando significativamente (Figura 5). A população que se destacou em RC1 foi UFU_13_1, que apresentou alto teor de acilaçúcares (44,07 nmol cm⁻² de área foliar) similar ao genitor doador/testemunha (43,52 nmol cm⁻² de área foliar) resistente (UFU MC TOM 1) (Figura 5).

Para as quatro populações do RC2, destacaram-se UFU_17_6_1 e UFU_4_6_1, sendo 1,16 e 1,13 vezes, respectivamente, superiores em relação à testemunha comercial (Figura 5).

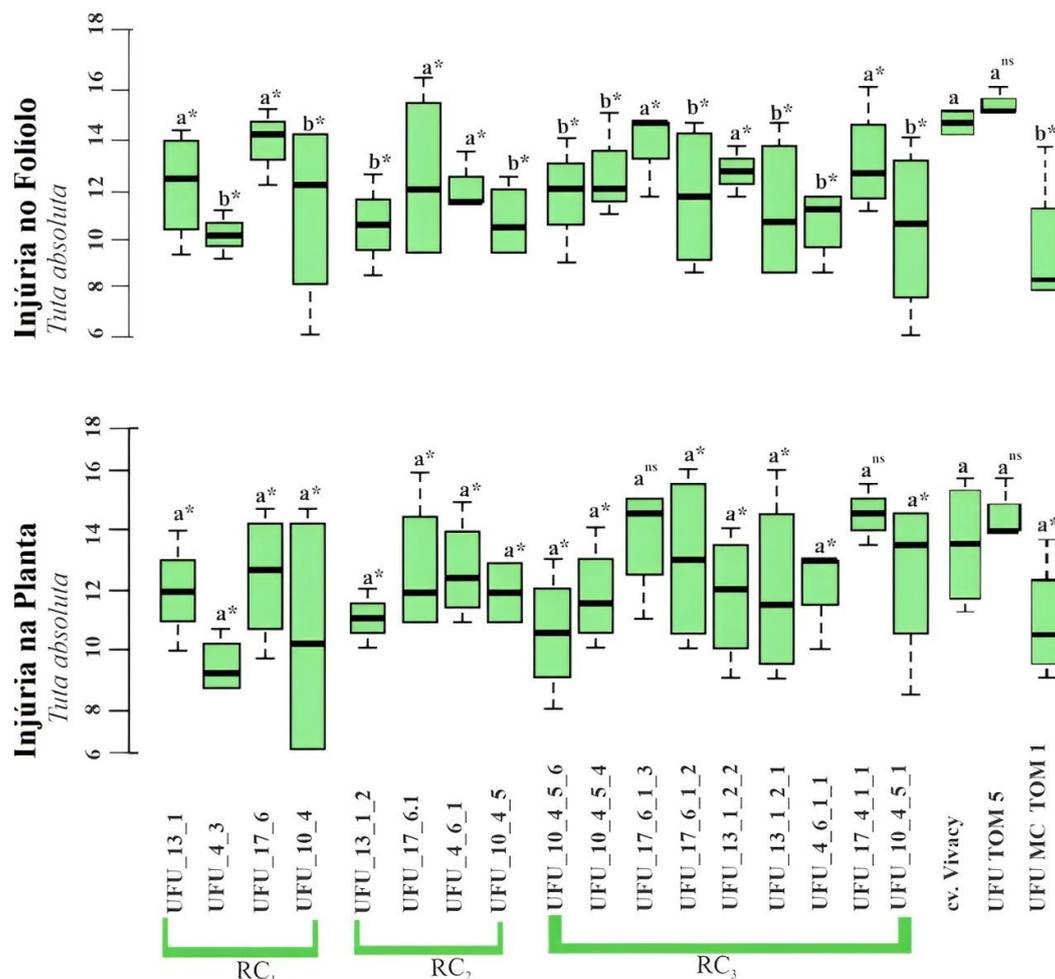
Entre as nove populações avaliadas no RC3, sete (UFU_10_4_5_4; UFU_17_6_1_2; UFU_13_1_2_2; UFU_13_1_2_1; UFU_4_6_1_1; UFU_17_4_1_1; UFU_10_4_5_1) foram superiores em relação à testemunha comercial e ao genitor recorrente (Figura 5).

A resistência mediada por acilaçúcares em tomateiro demonstra ser complexa. Mutschler; Kennedy; Ullman (2023) sugerem ser uma característica quantitativa e poligênica. Há relatos que teores intermediários de acilaçúcares nos folíolos de tomateiro são suficientes para promover amplo espectro de resistência a pragas (Maluf *et al.*, 2010). Esses resultados foram baseados no estudo realizado por Gonçalves *et al.* (2007), entretanto, sugeriram que o teor de acilaçúcares é controlado por apenas um gene, com dominância parcial no sentido de menor teor, com dominância incompleta para o controle de alto teor de acilaçúcares.

O trabalho realizado por Maluf *et al.* (2010) sugere o uso da linhagem TOM-687 (rica em acilaçúcares, proveniente de parental silvestre) para obtenção de híbridos com

teores intermediários. Sendo assim, uma nova tática descoberta na presente pesquisa seria o uso de plantas anãs das populações UFU_10_4_5_4, UFU_17_6_1_2, UFU_13_1_2_2, UFU_13_1_2_1, UFU_4_6_1_1, UFU_17_4_1_1 e UFU_10_4_5_1. Assim, sugere-se que plantas destas populações sejam autofecundadas e obtidas linhagens homozigotas para obtenção de híbridos de tomateiro, resistente a pragas, a partir de um parental anão. Além da resistência a pragas, as novas linhagens podem proporcionar vantagens agronômicas adicionais como observado por Finzi *et al.* (2017). A seleção de plantas com níveis de resistência a pragas a partir do teor de acilacúcares é uma forma indireta (Resende *et al.*, 2002; Maciel e Silva, 2014). Majoritariamente, a herdabilidade para resistência a pragas é baixa. Isso pode ser explicado pela dificuldade em manter o ambiente em condições homogêneas afetando a planta e o artrópode-praga (Resende *et al.*, 2002; Gonçalves *et al.*, 2007), tornando a precisão da seleção baixa (Santos *et al.*, 2018). A seleção direta pode proporcionar ganhos superiores, porém a seleção simultânea (direta e indireta) pode resultar em maior maximização e acurácia (Santos *et al.*, 2018). Diante disso, além da seleção indireta para teores foliares de acilacúcares, as populações de tomateiro de porte anão foram avaliadas de forma direta para injúrias na planta e nos folíolos. Observou-se diferença significativa entre os tratamentos e ficou evidente que a linhagem UFU MC TOM 1 possui resistência a T. absoluta. Houve diferença significativa em relação a testemunha comercial (cv. Vivacy) e genitor recorrente (UFU TOM 5) em relação as injúrias nos folíolos (Figura 6).

Figura 6 - Cálculo da curva do progresso das injúrias na planta e lesões nos folíolos ao longo do tempo ocasionados por *Tuta absoluta* (soma das notas referente as 7 avaliações realizadas). Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, $p < 0.05$. * significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnett, $p < 0.05$ em relação à cv. Vivacy.



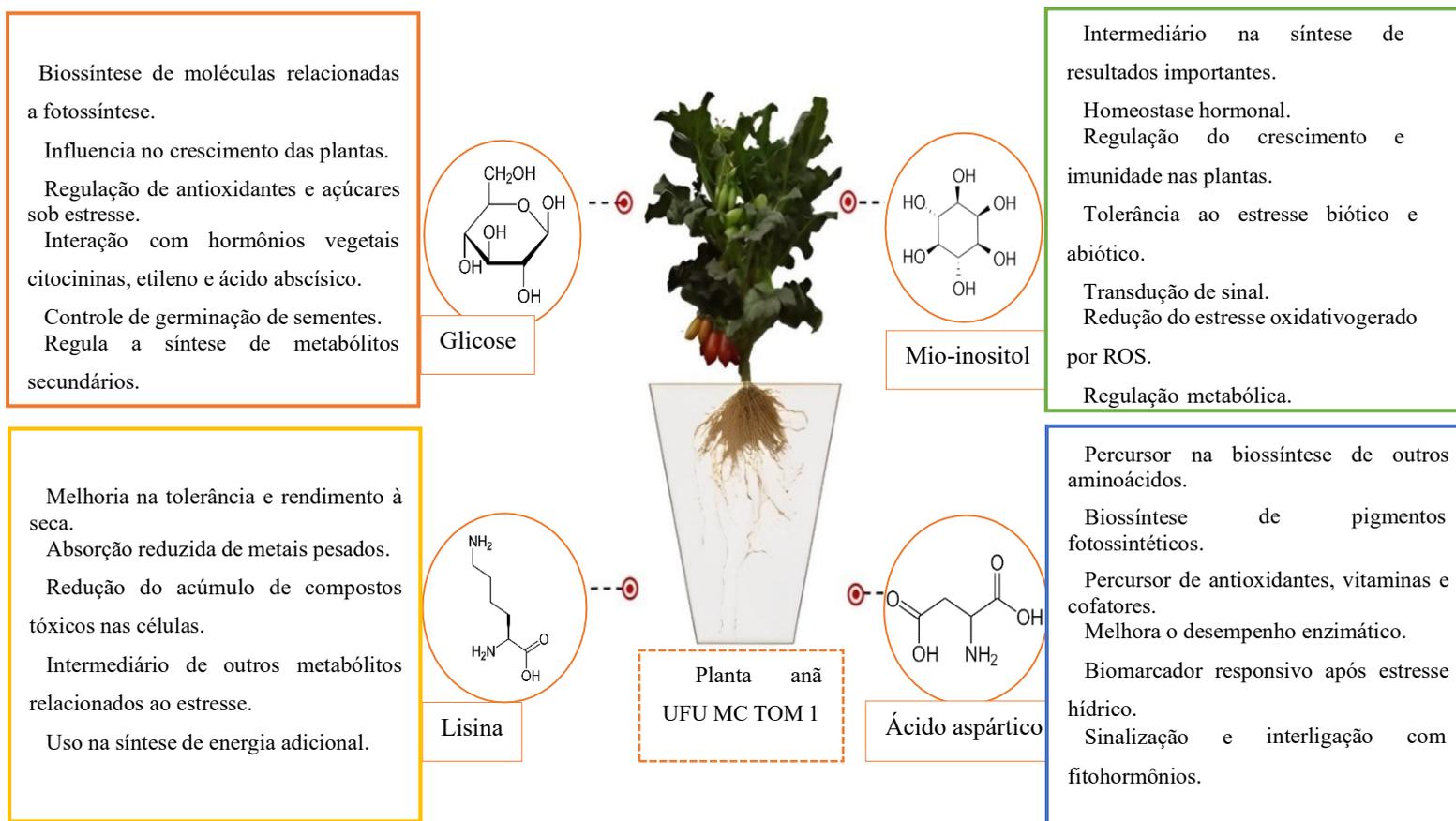
Fonte: Os autores, 2023.

Em relação à herbivoria ocasionada por *T. absoluta* foi possível observar que quase todas as populações (RC₁, RC₂ e RC₃) apresentaram menor consumo do mesófilo foliar nos folíolos, exceto a população UFU_17_6_1_3 (injúria na planta 13,75 e nos folíolos 15,25) (Figura 6), pois, essa população possui baixo teor de acilaçúcares nos folíolos (Figura 5). Embora genótipos com altos teores de acilaçúcares tenham sido mais resistentes à *T. absoluta* do que os demais, seus níveis de resistência podem ser dependentes do *background* genético. Adicionalmente, sugere-se que com o avanço das gerações de retrocruzamento, outras características relacionadas com a morfologia da planta ou, outros compostos secundários podem ser perdidos (Oliveira *et al.*, 2022;

Gomes *et al.*, 2023).

Conforme relatado, é sabido que a obtenção de tomateiro resistente a pragas ocorre majoritariamente a partir do uso de acessos silvestres do gênero *Solanum*, especialmente *S. pennellii* (Maluf *et al.*, 2010; Maciel *et al.*, 2018; Peixoto *et al.*, 2020; Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023). Os resultados obtidos nesta pesquisa deixam evidente o potencial da linhagem UFU MC TOM 1 na obtenção de linhas de introgressão ricas em açúcares. Por tratar-se de pesquisas ainda com resultados incipientes sobre o potencial uso de tomateiro anão visando resistência a pragas, sugere-se a existência de outros compostos nos folíolos da linhagem UFU MC TOM 1. Neste sentido, a análise cromatográfica e perfil metabolômico auxiliaram no avanço do conhecimento. Foi possível observar a presença de outros compostos de interesse para novas investigações (Figura 7).

Figura 7 - Compostos identificados por cromatografia gasosa e espectrometria de massa de folhas de tomateiro anão UFU MC TOM 1 e suas ações no metabolismo de plantas.

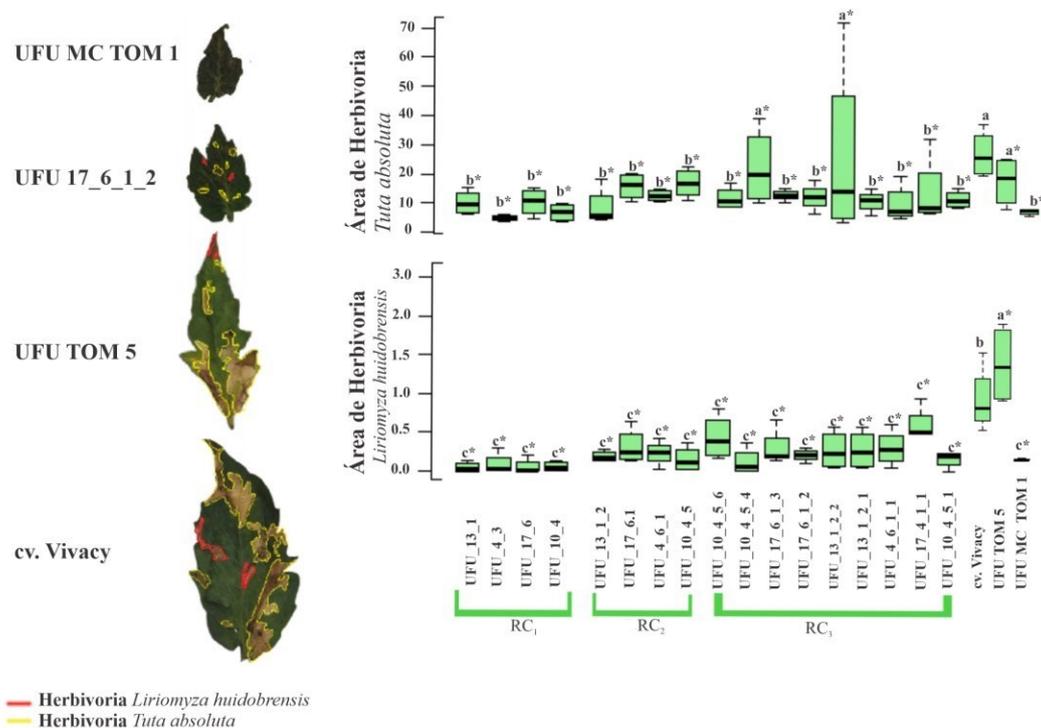


Fonte: A autora, 2023.

Há relatos que os compostos glicose, lisina, mio-inositol e ácido aspártico também podem estar associados com a promoção de resistência aos diferentes tipos de estresse biótico e abiótico em plantas (Vanlerberghe, 2013; Xu e Fu, 2022). Estas descobertas podem abrir caminho para um complexo de potenciais compostos capazes de permitir amplo espectro de resistência. Ademais, cada composto pode ser trabalhado de forma isolada ou em associação na busca por tomateiro com maior nível de resistência e menor necessidade do uso de pulverizações por inseticidas.

Em relação ao cálculo da área de herbivoria por imagem foi possível observar coerência entre os resultados obtidos por imagem dos provenientes da classificação do nível de injúrias na planta, nos folíolos e nos teores de açúcares. Da mesma forma que as demais avaliações, ficou evidente que a linhagem UFU MC TOM1 possui resistência as pragas *T. absoluta* e *L. huidobrensis*. Observou-se diferença significativa em relação a testemunha comercial (cv. Vivacy) e genitor recorrente (UFU TOM 5) (Figura 8).

Figura 8 - Cálculo da área de herbivoria consumido por *T. absoluta* e *L. huidobrensis* obtida com auxílio do software ImageJ. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, $p < 0,05$. * significativo e ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnett, $p < 0,05$ em relação à cv. Vivacy.



Fonte: A autora, 2023.

Assim como observado, as populações dos retrocruzamentos (RC₁, RC₂ e RC₃)

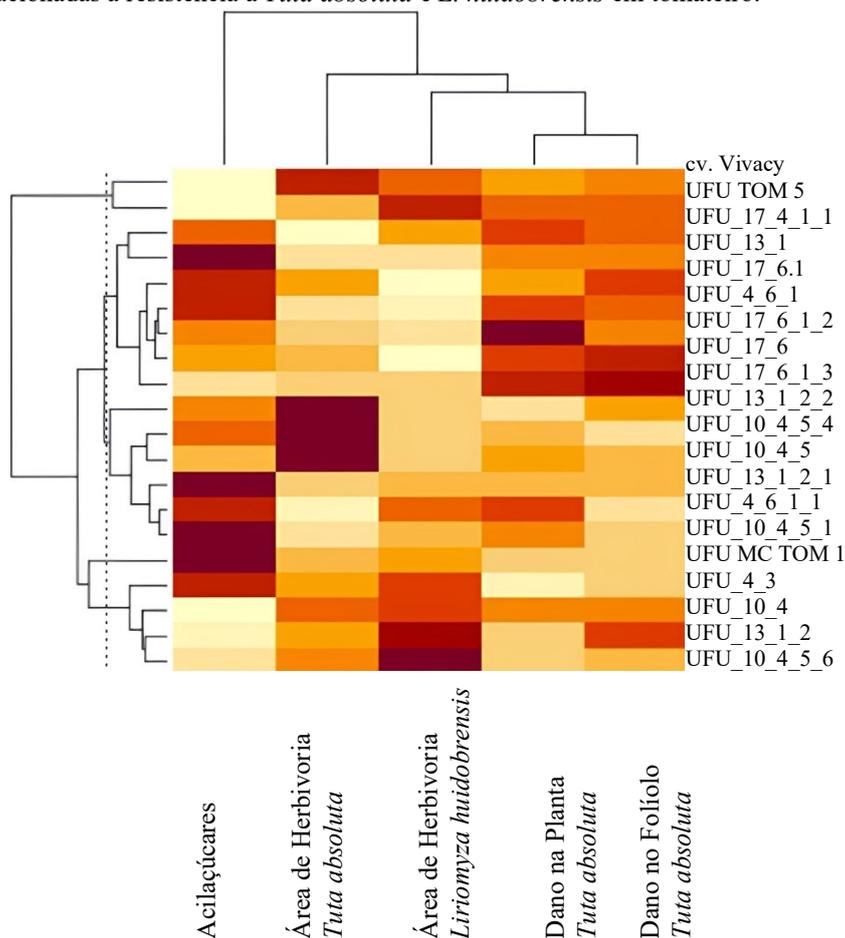
apresentaram uma menor área de herbivoria, exceto as populações UFU_10_5_4 e UFU_13_1_2_2 que apresentaram comportamento semelhante a UFU TOM 5 e cv. Vivacy para *Tuta absoluta* (Figura 6). Sugere-se que o uso de imagem para seleção direta em genótipos de tomateiro seja uma boa tática para avaliação. O fato da linhagem de porte anão UFU MC TOM 1, rica em acilaçúcares (Figura 5), apresentar menores lesões na planta e nas folhas (Figura 6), e menor área consumida (Figura 8) em relação a cultivar comercial e ao genitor recorrente (ambos com baixo teor de acilaçúcares), pode estar relacionada com a não-preferência evidenciando a resistência do tipo antixenose. Outras pesquisas já elucidaram o mesmo mecanismo de resistência, porém em background proveniente do acesso silvestre *S. pennellii* (Gonçalves Neto *et al.*, 2010).

De fato, a linhagem de porte anão UFU MC TOM 1 possui considerável potencial para fomentar futuros programas de melhoramento genético visando resistência a pragas. Vale ressaltar que além da resistência a pragas, esta linhagem pode transmitir para os híbridos outros benefícios agronômicos e relacionados a qualidade de fruto (Finzi *et al.*, 2017; Rajendran *et al.*, 2022).

A obtenção de híbridos com arquitetura de planta normal é possível mesmo quando se utiliza um parental de porte anão (rico em acilaçúcares, por exemplo). Isso se deve ao fato que a herança do porte anão é monogênica e recessiva (Maciel; Silva; Fernandes, 2015). Sugere-se o uso da linhagem de porte anão UFU MC TOM 1 para obtenção de outros backgrounds genéticos entre os diversos segmentos de tomate no mundo visando resistência a *T. absoluta* e *L. huidobrensis*.

Após as avaliações por métodos de seleção indireta (Figura 5) e direta (Figuras 6 e 8) por análise univariada realizou-se a obtenção de respostas pelo mapa de calor e agrupamento hierárquico (dendrograma duplo) para as características relacionadas a resistência a pragas em tomateiro (Figura 9).

Figura 9 - Respostas do mapa de calor e agrupamento hierárquico (dendrograma duplo) a características relacionadas a resistência a *Tuta absoluta* e *L. huidobrensis* em tomateiro.



Fonte: Os autores, 2023.

O gráfico do mapa de calor descreve a abundância relativa de cada genótipo de tomateiro (linhas) dentro de cada característica avaliada (coluna). O dendrograma mostra o agrupamento hierárquico de genótipos de tomateiro com base na medida de distância euclidiana e método de agrupamento UPGMA (Unweighted Pair Group Method using Arithmetic Averages) (Figura 9).

A definição do número de grupos no dendrograma foi baseada na mudança abrupta das ramificações (Cruz; Carneiro; Regazzi, 2014). Foi possível observar a formação de cinco grupos distintos, onde o grupo I foi formado pelas populações UFU_4_3, UFU_10_4, UFU_13_1_2, UFU_10_4_5_6; o grupo II formado pelo genitor doador (UFU MC TOM 1); o grupo III pelas populações UFU_10_4_5_1, UFU_4_6_1_1, UFU_13_1_2_1, UFU_10_4_5, UFU_10_4_5_4; UFU_13_1_2_2; o grupo IV pelas populações UFU_17_6_1_3, UFU_17_6, UFU_17_6_1_2, UFU_4_6_1,

UFU_17_6_1, UFU_13_1, UFU_17_4_1_1; e o grupo V que foi formado pela cv. Vivacy e UFU TOM 5 (genitor recorrente). O dendrograma apresentou coeficiente de correlação cofenético (CCC) igual 88 % com distorção de 4,73%.

O resultado da análise multivariada reforça o potencial da linhagem de porte anão de tomateiro (UFU MC TOM 1) para fomentar programas de melhoramento genético visando resistência a pragas. Essa linhagem ficou isolada no grupo II. Em contrapartida, a testemunha comercial (cv. Vivacy) e o genitor recorrente (UFU TOM 5) ficaram agrupados no mesmo grupo. Esses resultados estão coerentes com os obtidos na análise univariada (Figuras 5, 6 e 8).

A parte interna do dendrograma foi representada na forma de mapa de calor, onde as cores mais intensas (mais avermelhadas) indicam que o tratamento apresentou uma maior resposta em relação à variável analisada. Como pode ser observado, a linhagem resistente UFU MC TOM 1 está representada por cores claras para injúrias na planta, injúrias nos folíolos e área de herbivoria; e cor escura (vermelho escuro) para teor de acilaçúcares nos folíolos. Tanto a cv. Vivacy quanto o genitor recorrente UFU TOM 5 apresentaram cores claras para teor de acilaçúcares nas folhas e cores mais escuras para injúrias na planta, nos folíolos e área de herbivoria (Figura 9). Entre as variáveis analisadas, as maiores contribuições relativas de caracteres foram apresentadas pelos teores de acilaçúcares e pela área de herbivoria causada por *T. absoluta* apresentando 34,69 e 56,15%. Esta informação evidencia populações resistentes com altos teores de acilaçúcares e destaca a importância de utilizar técnicas a partir de imagens para avaliação da herbivoria.

Em relação ao grau de resistência entre as populações de retrocruzamentos (RC₁, RC₂ e RC₃) avaliadas não houve um predomínio das populações provenientes do RC₃. Isso pode ser explicado pela forma complexa da qual a resistência por acilaçúcares é mediada (Gonçalves *et al.*, 2007; Mutschler; Kennedy; Ullman, 2023). Diversas populações demonstraram potencial para obtenção de linhagens. A população UFU 13_1 não se diferenciou da testemunha resistente UFU MC TOM 1 rica em acilaçúcares. Esta população é promissora para obtenção de linhagens e explorar a capacidade combinatória visando obtenção de híbridos. Há relatos que teores intermediários de acilaçúcares são suficientes para promover amplo espectro de resistência a pragas (Maluf *et al.*, 2010). Algumas populações apresentaram teores intermediários (populações UFU_10_4_5_4,

UFU_17_6_1_2, UFU_13_1_2_2, UFU_13_1_2_1, UFU_4_6_1_1, UFU_17_4_1_1, UFU_10_4_5_1, UFU_17_6.1, UFU_4_6_1, UFU_17_6), porém, com o mesmo potencial para proporcionar resistência a pragas.

4 CONCLUSÕES

A população de plantas de porte anão UFU 13_1 é promissora para fomentar programas de melhoramento genético visando resistência a insetos-praga.

O avanço das gerações de retrocruzamentos resultou em diferentes níveis de resistência, provavelmente em função do tipo de herança e ação gênica dos acilaçúcares.

A linhagem UFU MC TOM 1 possui alto teor de acilaçúcares e foi resistente a traça-do-tomateiro (*Tuta absoluta* Meyrick, 1917) e a mimadora (*Liriomyza huidobrensis* Blanchard) em todas as avaliações realizadas.

Além dos acilaçúcares foram identificadas nos folíolos da linhagem UFU MC TOM 1, alta expressão de metabólitos como glicose, lisina, mio-inositol e ácido aspártico, promissores para novas pesquisas visando resistência aos diferentes tipos de estresse biótico e abiótico.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa-de-vegetação e em hidroponia**. 2. ed. Lavras: Editora UFLA, 2013. 455 p. Acesso em: 12 nov. 2023.

BIONDI, A.; GUEDES, R. N.; WAN, F. H.; DESNEUX, N. Ecology, worldwide spread, and management of the invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: Past, present, and future. **Annual Review of Entomology**, v. 63, p. 239-258. 2018. DOI: 10.1146/annurev-ento-031616-034933. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-ento-031616-034933>. Acesso em: 21 out. 2023.

CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRA, F. (ed.). **Encyclopedia of Food and Health**. 1. ed. Oxford: Academic Press, 2016. Acesso em: 21 nov. 2023.

CHAKRABORTY, S.; DUTTA, S.; DAS, M. Genetics Behind Sexual Incompatibility in Plants: How Much We Know and What More to Uncover?. **Journal of Plant Growth Regulation**. v. 42, p. 1-25, 2023. DOI: 10.1007/s00344-023-11005-z. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/370151840_Genetics_Behind_Sexual_Incompatibility_in_Plants_How_Much_We_Know_and_What_More_to_Uncover. Acesso em: 29 out. 2023.

CRUZ, C. D. Genes: a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 271-276, 2013. DOI:10.4025/actasciagron.v35i3.21251. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/21251>. Acesso em: 01 set. 2023.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P.C.S.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2014. v. 2, 668 p. Acesso em: 20 nov. 2023.

FINZI, R. R.; MACIEL, G. M.; SILVA, E. C.; LUZ, J. M. Q.; BORBA, M. E. A. Agronomic performance of mini-tomato hybrids from dwarf lines. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, p. 15-21. 2017. DOI: 10.1590/1413-70542017411021416. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314218115_Agronomic_performance_of_mini-tomato_hybrids_from_dwarf_lines. Acesso em: 12 nov. 2023.

FINZI, R. R.; MACIEL, G. M.; PEIXOTO, J. V. M.; MOMESSO, M. P.; PERES, H. G. SILVA, M. F.; CABRAL NETO, L. D.; DA, G.; MARTINS, M. P. C. Genetic gain according to different selection criteria for agronomic characters in advanced tomato lines. **Genetics and Molecular Research**, v. 19, p. 1-9, 2020. DOI: 10.4238/gmr18462. Disponível em: <https://geneticsmr.com/articles/genetic-gain-according-different-selection-criteria-agronomic-characters-advanced-tomato>. Acesso em: 10 out. 2023.

FINZI, R. R.; MACIEL, G. M.; PERES, H. G.; SILVA, M. F.; PEIXOTO, J. V. M.;

GOMES, D. A. Agronomic potential of BC1F2 dwarf round tomato populations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, p. 1-8, 2020. DOI: 10.1590/1413-7054202044028819. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/dgx6WGNmS3nfdLCnXmJBc5j/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 10 out. 2023.

FINZI, R. R.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; OLIVEIRA, C. S.; PEIXOTO, J. V. M.; RIBEIRO, A. L. A. Agronomic potential, pest resistance, and fruit quality in BC1F3 dwarf round tomato populations. **Comunicata Scientiae**, v. 13, p. 3759. 2022. DOI: 10.14295/cs.v13.3759. Disponível em: <https://www.comunicatascientiae.com.br/comunicata/article/view/3759>. Acesso em: 10 out. 2023.

FORNAZIER, M. J.; PRATISSOLI, D.; MARTINS, D. S. Principais pragas da cultura do tomateiro estaqueado na região de montanhas do Espírito Santo. *In: TOMATE*. Vitória: Incaper, 2010. p. 185-226. Acesso em: 23 nov. 2023.

GALDINO T. V. S.; PICANÇO, M. C.; MORAIS, E. G. F.; SILVA, N. R.; SILVA, G. A. R.; LOPES, M. C. Bioassay method for toxicity studies of insecticide formulations to *Tuta absoluta* (Meyrick, 1917). **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, p. 869-877. 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000500002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/QVbVF9ySwFJRQVdY3qJ7tjM/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 nov. 2023.

GOMES, D. A.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; OLIVEIRA, C. S.; FINZI, R. R.; MARQUES, D. J. Selection of BC1F3 populations of Santa Cruz type dwarf tomato plant by computational intelligence techniques. **Bragantia**, v. 80, p. 1, 2021. DOI: 10.1590/1678-4499.20210046. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/354347328_Selection_of_BC1F3_populations_of_Santa_Cruz_type_dwarf_tomato_plant_by_computational_intelligence_techniques. Acesso em: 23 nov. 2023.

GOMES, D. A.; MACIEL, G. M.; NETO, L. B.; SIQUIEROLI, A. C. S.; FINZI, R. R. potential of BC1F2 populations of Santa Cruz dwarf tomato plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 45, e. 56482, 2023. DOI: 10.4025/actasciagron.v45i1.56482. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/56482>. Acesso em: 09 nov. 2023.

GONCALVES, L. D.; MAFUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; GOMES, L. A. A.; NASCIMENTO, I. R. Herança de acilaçúcares em genótipos de tomateiro provenientes de cruzamento interespecífico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p. 699-705, 2007. DOI:10.1590/S0100-204X2007000500013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/xdbXGRzz57DQddJzMjVTptR/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 21 nov. 2023.

GONÇALVES NETO, A. C.; SILVA, V. F.; MACIEL, G. M.; NIZIO, D. A. C.; GOMES, L. A. A.; AZEVEDO, S. M. Resistência à traça-do-tomateiro em plantas com altos teores de acilaçúcares nas folhas. **Horticultura Brasileira**, v. 28, p. 203-208, 2010.

DOI: 10.1590/S0102-05362010000200011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/250045277_Resistencia_a_traca-do-tomateiro_em_plantas_com_altos_tiores_de_acilacucare_nas_folhas. Acesso em: 26 nov. 2023.

JAFIR, M.; IRFAN, M.; ZIA-UR-REHMAN, M.; HAFEEZ, F.; AHMAD, J. N.; SABIR, M. A.; ZULFIQAR, U.; IQBAL, R.; ZULFIQAR, F.; MOOSA, A. The global trend of nanomaterial usage to control the important agricultural arthropod pests: A comprehensive review. **Plant Stress**, v. 10, 2023. DOI: 10.1016/j.stress.2023.100208. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667064X23000751>. Acesso em: 03 out. 2023.

LABORY, C. R. G.; SANTA-CECILIA, L. V. C.; MALUF, W. R.; CARDOSO, M. G.; BEARZOTTI, E.; SOUZA, J. C. Seleção indireta para teor de 2-tridecanona em tomateiros segregantes e sua relação com a resistência à traça-do-tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 733-740. 1999. DOI: 10.1590/S0100-204X1999000500002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/fKmqTjFF76Zjhn3mnsBDZML/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 out. 2023.

LI, Q.; SHEN, H.; YUAN, S.; DAI, X.; YANG, C. miRNAs and lncRNAs in tomato: Roles in biotic and abiotic stress responses. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 1094459, 2023. DOI: 10.3389/fpls.2022.1094459. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2022.1094459/full>. Acesso em: 03 out. 2023

LIU, X.; YANG, W.; WANG, J.; YANG, M.; WEI, K.; LIU, X. Y.; QIU, Z.; GIANG, T. V.; WANG, X.; GUO, Y. M.; LI, J.; LIU, L.; SHU, J. S.; DU, Y.; HUANG, Z. SIGID1a Is a Putative Candidate Gene for qtph1.1, a Major-Effect Quantitative Trait Locus Controlling Tomato Plant Height. **Frontiers in Genetics**, v. 11, 2020. DOI: 10.3389/fgene.2020.00881. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2020.00881/full>. Acesso em: 01 out. 2023.

LUCINI, T.; FARIA, M. V.; ROHDE, C.; VILELA, J. T.; RESENDE.; OLIVEIRA, J. R. F. Acylsugar and the role of trichomes in tomato genotypes resistance to *Tetranychusurticae*. **Arthropod-Plant Interactions**, v. 9, p. 45-53. 2015. DOI: 10.1007/s11829-014-9347-7. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11829-014-9347-7>. Acesso em: 09 nov. 2023

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C. Proposta metodológica para quantificação de acilaçúcares em folíolos de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 32, p. 174-177. 2014. DOI: 10.1590/S0102-05362014000200009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/XsyhwMYtRsLN8PkRGXfFV3c/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 nov. 2023.

MACIEL, G. M.; SILVA, E. C. D.; FERNANDES, M. A. R. Ocorrência de nanismo em planta de tomateiro do tipo grape. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 259–264, 2015. DOI:

10.1590/1983-21252015v28n429rc. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/296683151_OCORRENCIA_DE_NANISMO_EM_PLANTA_DE_TOMATEIRO_DO_TIPO_GRAPE. Acesso em: 06 nov. 2023.

MACIEL, G. M.; FINZI, R. R.; CARVALHO, F. J.; MARQUEZ, G. R.; CLEMENTE, A. A. Agronomic performance and genetic dissimilarity among cherry tomato genotypes. **Horticultura Brasileira**, v. 36, p. 167-72. 2018. DOI: 10.1590/S0102-053620180203. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/326266237_Agronomic_performance_and_genetic_dissimilarity_among_cherry_tomato_genotypes. Acesso em: 09 nov. 2023.

MACIEL, G. M.; MARQUEZ, G. R.; SILVA, E. C.; ANDALÓ, V.; BELLOTI, I. F. Tomato genotypes with determinate growth and high acylsugar content presenting resistance to spider mite. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**. v. 18, p. 1-8. 2018. DOI: 10.1590/1984-70332018v18n1a1. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/322939360_Tomato_genotypes_with_determinate_growth_and_high_acylsugar_content_presenting_resistance_to_spider_mite. Acesso em: 09 nov. 2023.

MALUF, W. R.; BARBOSA, L.V.; SANTA-CECÍLIA, L. C. 2-tridecanone-mediated mechanisms of resistance to the South American tomato pinworm *Scrobipalpus absolutus* (Meyrick, 1917) (Lepidoptera-Gelechiidae) in *Lycopersicon* spp. **Euphytica**, v. 93, p. 189-194. 1997. Acesso em: 10 out. 2023

MALUF, W. R.; SILVA, V. F.; CARDOSO, M. G.; GOMES, L. A. A.; GONÇALVES NETO, A. C.; MACIEL, G. M.; NIZIO, D. A. C. Resistance to the South American tomato pinworm *Tuta absoluta* in high acylsugar and/or high zingiberene tomato genotypes. **Euphytica**, v. 176, p. 113–123, 2010. DOI: 10.1007/s10681-010-0234-8. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-010-0234-8?sv1=affiliate&sv_campaign_id=685769&awc=26429_1721952647_c71a50df725730ae7ae4cf7371a69c1e&utm_medium=affiliate&utm_source=awin&utm_campaign=CONR_BOOKS_ECOM_DE_PBOK_ALWYS_DEEPLINK&utm_content=textlink&utm_term=685769. Acesso em: 09 nov. 2023.

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, 2023. DOI: 10.1016/j.cois.2023.101021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214574523000184>. Acesso em 03 nov. 2023.

OLIVEIRA, C. M.; JUNIOR, V. C. A.; MALUF, W. R.; NEIVA, I. P.; MACIEL, G. M. Resistance of tomato strains to the moth *Tuta absoluta* imparted by allelochemicals and trichome density. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 36, p. 45-52. 2012. DOI:10.1590/S1413-70542012000100006. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/cagro/a/XvDsgMzSSd8hpBGSTMvsgnb/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 nov. 2023.

OLIVEIRA, C.S.; MACIEL, G. M.; SIQUIEROLI, A. C. S.; GOMES, D. A.;

MARTINS, M. P. C.; FINZI, R. R. Selection of F2 RC1 saladette-type dwarf tomato plant populations for fruit quality and whitefly resistance. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 28-35, 2022. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v26n1p28-35. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/XMLgLSR8Rp3JJSXrVwnhn8R/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 nov. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (Brasil). ONU. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável no Brasil**. Brasília, DF, 2023. Portal. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/2>. Acesso em: 09 jan. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A ALIMENTAÇÃO E A AGRICULTURA (Italy). **FAOSTAT**. Roma, 2023. Portal. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 12 nov. 2023.

PEIXOTO, J. V. M.; RIBEIRO, A. L. A.; MACIEL, G. M.; OLIVEIRA, C.S.; FINZI, R. R.; MORAES, E. R. 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, p. 596-602, 2020. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n9p596-602. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/Pr6DSFSP5Dr9wkVPr5Yft7C/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 08 nov. 2023

PEIXOTO, J. V. M.; MACIEL, G. M.; PEREIRA, L. M.; SILVEIRA, A. J.; CLEMENTE, A. A.; MIRANDA, M. S.; OLIVEIRA, C. S. Genetic divergence in round tomato germplasm: optimization and hierarchical methods. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 15, p. 1-7, 2020. DOI: 10.5039/agraria.v15i4a6708. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v15i4a6708>. Acesso em: 09 nov. 2023.

PRATISSOLI, D.; LIMA, V. L. S.; PIROVANI, V. D.; LIMA, W. L. Occurrence of *Helicoverpa armigera* (Lepidoptera: Noctuidae) on tomato in the Espírito Santo state. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n.1, p. 101-105, 2015. DOI: 10.1590/S0102-053620150000100016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hb/a/pwy4Q5MVgrMCSctvDJT3NCF/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 out. 2023.

R CORE TEAM (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 07 set. 2023.

RAJENDRAN, S.; BAE, J. H.; PARK, M. W.; OH, J. H.; JEONG, H. W.; LEE, Y. K.; PARK, S. J. Tomato Yield Effects of Reciprocal Hybridization of *Solanum lycopersicum* Cultivars M82 and Micro-Tom. **Plant Breeding and Biotechnology**.v.10, p. 37-48. 2022. DOI: 10.9787/PBB.2022.10.1.37. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358961465_Tomato_Yield_Effects_of_Reciprocal_Hybridization_of_Solanum_lycopersicum_Cultivars_M82_and_Micro-Tom. Acesso em: 09 nov. 2023.

RESENDE, J. T. V.; CARDOSO, M. G.; MALUF, W. R.; SANTOS, C. D.; GONÇALVES, L. D.; RESENDE, L. V.; NAVES, F. O. Método colorimétrico para quantificação de acilaçúcar em genótipos de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, p.1204-1208, 2002.

RESENDE, N. C. V.; SILVA, A. A.; MALUF, W. R.; RESENDE, J. T. V.; ZEIST, A. R.; GABRIEL, A. Selection of tomato lines, and populations for fruit shape and resistance to tomato leafminer. **Horticultura Brasileira**, v. 38, p. 117-25. 2020. DOI: 10.1590/s0102-053620200202. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341888114_Selection_of_tomato_lines_and_populations_for_fruit_shape_and_resistance_to_tomato_leafminer. Acesso em: 03 nov. 2023.

RONGA, D.; CARADONIA, F.; VITTI, A.; FRANZIA, E. Agronomic Comparisons of Heirloom and Modern Processing Tomato Genotypes Cultivated in Organic and Conventional Farming Systems. **Agronomy**, v. 11, n. 2, p. 349, 2021. DOI: 10.3390/agronomy11020349. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/349>. Acesso em: 12 out. 2023

ROSSETO, C. J. **Resistência de plantas a insetos**. Piracicaba, ESALQ, 1973. 171p. Acesso em: 03 out. 2023.

SANTOS, I. G.; CRUZ, C. D.; NASCIEMNTO, M.; ROSADO, R. D. S.; FERREIRA, R. P. Direct, indirect and simultaneous selection as strategies for alfalfa breeding on forage yield and nutritive value. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 178–89. 2018. DOI: 10.1590/1983-40632018v48n2p178-189. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/GzJBDB8xNQ8VcRvLdkbhGcx/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 12 nov. 2023.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-5.2012. DOI: 10.1038/nmeth.2089. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nmeth.2089>. Acesso em: 03 out. 2023.

SMITH, C. M. Conventional breeding of insect-resistant crop plants: still the best way to feed the world population. **Current Opinion in Insect Science**, v. 45, p. 7-13, 2021. DOI: 10.1016/j.cois.2020.11.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214574520301528>. Acesso em: 12 out. 2023

TALEKAR, N. S.; OPEÑA, R. T.; HANSON, P. *Helicoverpa armigera* management: A review of AVRDC's research on host plant resistance in tomato. **Crop Protection**, v. 25, n. 5, p. 461-467, 2006. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.07.011. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20063092202>. Acesso em: 23 out. 2023.

VANLERBERGHE, G. C. Alternative Oxidase: a mitochondrial respiratory pathway to

maintain metabolic and signaling homeostasis during abiotic and biotic stress in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 6805-47. 2013. DOI: 10.3390/IJMS14046805. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/14/4/6805>. Acesso em: 23 out. 2023.

VERHEGGEN, F.; FONTUS, R. B. First record of *Tuta absoluta* in Haiti. **Entomologia Generalis**, v. 38, n. 4, p. 349-353, 2019. DOI: 10.1127/ENTOMOLOGIA/2019/0778. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/entomologia/detail/38/90620/First_record_of_Tuta_absoluta_in_Haiti?af=crossref. Acesso em: 10 out. 2023.

XU, Y.; FU, X. Reprogramming of plant central metabolism in response to abiotic stresses: A metabolomics view. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 23, n. 10, p. 5716, 2022. DOI: 10.3390/ijms23105716. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1422-0067/23/10/5716>. Acesso em: 12 out. 2023.

WANG, Y.; ZHAO, J.; LU, W.; DENG, D. Gibberellin in plant height control: old player, new story. **Plant Cell Rep**, v. 36, n. 3, p. 391-398, 2017. DOI: 10.1007/s00299-017-2104-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00299-017-2104-5?sv1=affiliate&sv_campaign_id=685769&awc=26429_1721951570_ba2542e7d30cd94ee4deb116bec9bdce&utm_medium=affiliate&utm_source=awin&utm_campaign=CONR_BOOKS_ECOM_DE_PBOK_ALWAYS_DEEPLINK&utm_content=textlink&utm_term=685769. Acesso em: 09 nov. 2023.