



ALISSON MARCEL SOUZA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DE TOMATEIROS A
GEMINIVÍRUS E A ESTRESSE HÍDRICO**

LAVRAS – MG

2016

ALISSON MARCEL SOUZA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DE TOMATEIROS A GEMINIVÍRUS E A
ESTRESSE HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Wilson Roberto Maluf

LAVRAS – MG

2016

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Oliveira, Alisson Marcel Souza de.
Resistência de tomateiro a geminivírus e a estresse hídrico /
Alisson Marcel Souza de Oliveira. – Lavras : UFLA, 2016.
83 p.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.
Orientador(a): Wilson Roberto Maluf.
Bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. melhoramento genético. 3.
aleloquímicos. 4. indicadores de déficit hídrico. 5. tolerância à seca.
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ALISSON MARCEL SOUZA DE OLIVEIRA

**RESISTÊNCIA DE TOMATEIROS A GEMINIVÍRUS E A
ESTRESSE HÍDRICO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 02 de agosto de 2016.

Dr. Arie Fitzgerald Blank	UFS
Dr. Douglas Willian Nogueira	HORTIAGRO
Dr. Evaristo Mauro de Castro	UFLA
Dr. Guilherme Henrique Martins Rodrigues Ribeiro	UFSCAR

Dr. Wilson Roberto Maluf
Orientador

**LAVRAS – MG
2016**

Aos meus pais, José Antonio e Maria Pereira
e à minha noiva Alessandra Carvalho, que
sempre me incentivaram e apoiaram,
tornando possível a realização deste sonho.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar a Deus, pelas bênçãos recebidas.

À minha família, meus pais, Jose Antonio e Maria Pereira, aos meus irmãos Anderson e Alan por todo amor, apoio e por sempre acreditarem em mim. Vocês são o meu porto seguro.

À minha noiva Alessandra, pelo companheirismo, paciência e amor, e sua família pelo incentivo e apoio.

Aos meus familiares, tios, tias, primos e primas pela torcida e pelo apoio, amizade e confiança.

À Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Agricultura e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de cursar este doutorado e pela contribuição em minha formação acadêmica.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Hortiagro Sementes S.A., pelo apoio financeiro, concessão de bolsa e disponibilidade da infraestrutura.

Ao professor e orientador Dr. Wilson Roberto Maluf, pela oportunidade, confiança e ensinamentos transmitidos.

Ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho, por todos os ensinamentos transmitidos.

Ao Dr. Arie Fitzgerald Blank, membro da banca examinadora, pela disponibilidade e por contribuir para a qualidade desta tese e pela sugestão e incentivo para que eu realizasse meu doutorado na Universidade Federal de Lavras.

Ao Dr. Evaristo Mauro de Castro, por participar da banca examinadora, pela disponibilidade e por contribuir para a qualidade desta tese e pelo auxílio nas análises morfológicas.

Ao Dr. Douglas Willian Nogueira, por participar da banca examinadora, pela disponibilidade e por contribuir para a qualidade desta tese e pela sua amizade.

Ao Dr. Guilherme Henrique Martins Rodrigues Ribeiro, por participar da banca examinadora, pela disponibilidade e por contribuir para a qualidade desta tese e pela sua amizade.

A toda a equipe de trabalho (Alex, Beatriz, Betsabé, Cyntia, Carlos, Daniela, Danilo, Gustavo, Irã, Jéssica Figueiredo, Jessica Nogueira, João, Juliana, Julio, Leonardo, Marcela, Monik, Nathália, Rodolfo, Regis, Thabata e Thiago Conrado) e a todos os funcionários da Hortiagro Sementes S.A., pela ajuda para a realização deste trabalho.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Marli, pelo auxílio e disponibilidade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO GERAL

No tomateiro, uma das hortaliças mais cultivadas no mundo, os estresses ambientais, como problemas fitossanitários e a ocorrência de déficit hídrico, são fatores limitantes para a produção. Em diferentes ensaios, objetivou-se avaliar genótipos de tomateiro com diferentes níveis de resistência a geminivírus e identificar características morfofisiológicas associadas ao estresse hídrico. No primeiro ensaio, 48 genótipos de tomateiro, depois de infectados pelo *Tomato yellow vein streak vírus* (ToYVSV), via mosca-branca (*Bemisia argentifolii*), foram avaliados, utilizando-se uma escala de notas que varia de 1 a 5, sendo 1= sem sintoma (planta altamente resistente) e 5=sintomas severos (planta altamente suscetível). As linhagens, que continham o gene *Mi* associado ao gene *Ty-1*, em homozigose, conferiram maior nível de resistência a geminivírus do que os genótipos portadores dos mesmos genes atuando, isoladamente e do que os híbridos portadores dos mesmos genes *Mi* e *Ty-1* em heterozigose. Genótipos com teores mais elevados dos aleloquímicos acilaçúcar e/ou zingibereno, também, contribuíram para um incremento no nível de resistência ao geminivírus conferido por *Ty-1*. De maneira geral, a presença de aleloquímicos e/ou do gene *Mi* em genótipos de tomateiro, reduzem os sintomas de geminivírus em razão da diminuição da infestação do inseto-vetor. No segundo ensaio, os tratamentos consistiram de cinco genótipos de tomate: as linhagens TOM-684 e TOM-760, com baixa tolerância ao estresse hídrico; as linhagens BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk, previamente caracterizadas como resistentes à podridão apical induzida por estresse hídrico, e o híbrido F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760). A restrição no fornecimento de água se deu aos 35 dias após o transplantio (DAT), fornecendo-se apenas 20% da evapotranspiração da cultura (ETc). As linhagens BPX-441D-88-bulk, BPX-441D-55-bulk e o híbrido F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760) apresentaram os menores valores para o percentual de flores abortadas e de frutos com podridão apical. O híbrido F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760) apresentou maiores teores de pigmentos cloroplastídicos do que os demais genótipos, resistentes ou suscetíveis. As linhagens BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk apresentaram menores densidades estomáticas, nas faces abaxial e adaxial dos folíolos e, em condições de déficit hídrico, apresentam maiores trocas gasosas. As características avaliadas estão associadas ao déficit hídrico e podem ser usadas como ferramenta nos programas de melhoramento do tomateiro.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, melhoramento genético, aleloquímicos, indicadores de déficit hídrico, tolerância à seca.

GENERAL ABSTRACT

In tomato crop, one of the vegetables most grown in the world, pathogens and environmental stresses such as drought, are limiting factors and leads to yield reduction. This study aimed to evaluate tomato genotypes with different geminivirus resistance levels, and identify morphological and physiological characteristics associated with drought tolerance. In the first trial, 48 tomato genotypes, were infected with *Tomato yellow vein streak virus* (ToYVSV) using whiteflies as vectors (*Bemisia argentifolii*) and were evaluated using a rating scale ranging from 1 to 5, with 1 = no symptom (highly resistant plant) and 5 = severe symptoms (highly susceptible plant). Inbred lines bearing the gene *Mi* in association with the *Ty-1* gene, both homozygous, showed a higher geminivirus resistance level than those genotypes bearing only one of these genes, and that hybrids bearing *Mi* and *Ty-1* genes in heterozygosity. Genotypes with higher allelochemicals levels such as acylsugar and/or zingiberene also contributed to increase geminivirus resistance level conferred by *Ty-1*. In general, the presence of allelochemicals and/or the *Mi* gene in tomato genotypes reduces the symptoms of geminivirus due to the lower vector infestation. In the second trial, the treatments consisted of five genotypes of tomato: the TOM-684 and TOM-760 inbred lines, with low drought tolerance; the inbred lines BPX-441D-88-bulk and BPX-441D-55-bulk, previously characterized as resistant to blossom end rot induced by drought stress, and the hybrid F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760). The water supply restriction occurred 35 days after transplanting (DAT), it was provided only 20% of crop evapotranspiration (ET_c). The genotypes BPX-441D-88-bulk, BPX-441D-55-bulk and the hybrid F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760), had the lowest aborted flowers and fruit with blossom end rot percentages. The hybrid F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760) showed higher chloroplastids pigments levels when compared to other genotypes, resistant and susceptible genotypes. The inbred lines BPX-441D-88-bulk and BPX-441D-55-bulk showed lower stomatal density in both abaxial and adaxial leaf surface, and in drought stress conditions, had higher gas exchange. The characteristics evaluated in this study are related to drought and can be used as a tool in tomato breeding programs.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, breeding, allelochemicals, drought indicators, drought tolerance

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1.....	10
1	REVISÃO DE LITERATURA.....	11
1.1	Aspectos gerais do gênero <i>Solanum</i> seção <i>Lycopersicum</i>.....	11
1.2	Ataque de pragas e doenças na cultura do tomate.....	14
1.2.1	Os geminivírus.....	14
1.2.2	Resistência à pragas intermediada por aleloquímicos foliares..	16
1.2.3	Resistência à pragas associada ao gene <i>Mi</i>.....	18
1.2.4	Melhoramento do tomateiro visando resistência a geminivírus	20
1.3	Estresse hídrico na cultura do tomate.....	21
1.3.1	Podridão apical.....	23
1.3.2	Abortamento floral.....	25
1.3.3	Densidade estomática.....	26
1.3.4	Trocas gasosas: condutância estomática, fotossíntese e transpiração.....	28
1.3.5	Melhoramento genético para resistência ao déficit hídrico.....	30
	REFERÊNCIAS.....	32
	CAPÍTULO II Resistência de genótipos de tomateiro a geminivírus.....	44
1	INTRODUÇÃO.....	47
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
4	CONCLUSÕES.....	56
	REFERÊNCIAS.....	57
	CAPÍTULO III Déficit hídrico em genótipos de tomateiro.....	66
1	INTRODUÇÃO.....	69
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4	CONCLUSÕES.....	77
	REFERÊNCIAS.....	78

CAPÍTULO I

1 REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Aspectos gerais do gênero *Solanum* seção *Lycopersicum*

O tomate é uma importante olerícola que ocupa lugar de destaque econômico dentre as hortaliças cultivadas. A produção mundial, no ano de 2012, foi de 161,79 milhões de toneladas. No ranking dos maiores produtores, a China lidera com 50,0 milhões de toneladas, seguida da Índia com 17,50 milhões e, em terceiro lugar, os Estados Unidos da América com 13,21 milhões. O Brasil ocupou a nona posição entre os maiores produtores de tomate, com uma produção de 3,87 milhões de toneladas no ano de 2012 (AGRIANUAL, 2015).

Os frutos do tomateiro são uma boa fonte de ácido fólico, vitamina C e potássio (FONTES; SILVA, 2005). Dos nutrientes, os mais abundantes são os carotenoides como o licopeno (apresenta ação anticarcinogênica), seguidos da provitamina A (betacaroteno). Outros compostos como a vitamina E e os flavonoides, também, são encontrados no tomate, o qual possui, ainda, baixo teor de energia, aproximadamente, 20 kcal por 100g de fruto. O sabor é dado pelos teores de sólidos solúveis (açúcares e ácidos orgânicos). A versatilidade de utilização do tomate garante a difusão de seus produtos manufaturados em todo o país, contribuindo com a economia regional, em virtude do valor da produção social, gerando empregos diretos e indiretos (MAKISHIMA, 2003).

A família Solanaceae possui, aproximadamente, 3000 espécies distribuídas em 90 gêneros (KNAPP et al., 2004), sendo considerada uma das mais importantes para a agricultura. Pelo menos cinco espécies de interesse econômico pertencem à família solanaceae: a batata (*Solanum tuberosum*), as pimentas e pimentões (*Capsicum* spp.), a berinjela (*Solanum melongena*), o tabaco (*Nicotiana tabacum*) e o tomate (*Solanum lycopersicum*) (SEGUÍ-SIMARRO et al., 2011). O gênero *Solanum* é o de maior importância econômica e o mais representativo da família, com

aproximadamente 2000 espécies (DARWIN; KNAPP; PERALTA, 2003; WEESE; BOHS, 2007).

Lineaus, em 1753, denominou, cientificamente, o tomateiro cultivado de *Solanum lycopersicum*. No entanto a espécie foi reclassificada por Miller, em 1768, relacionando-a ao gênero *Lycopersicon* e denominando-a de *Lycopersicon esculentum*. Este nome foi adotado pela maioria dos botânicos e melhoristas de plantas até recentemente. Porém, em estudos atuais, dados moleculares de DNA de cloroplastos reforçaram a afirmativa de que os tomates e batatas são muito próximos do ponto de vista genético. Desta maneira, a classificação filogenética da família Solanaceae foi revisada e o gênero *Lycopersicon* foi reintegrado ao gênero *Solanum* (PERALTA; KNAPP; SPOONER, 2006; SPOONER; ANDERSON; JANSEN, 1993).

O gênero *Solanum* seção *Lycopersicon* inclui o tomateiro cultivado (*S. lycopersicum*) e mais 12 espécies selvagens, nativas da região Andina, a qual abrange parte do Chile, da Colômbia, do Equador, da Bolívia e do Peru, além da região onde se localizam as Ilhas Galápagos. As espécies selvagens são: *S. arcanum*, *S. cheesmaniae*, *S. chilense*, *S. chmielewski*, *S. galapagense*, *S. habrochaites*, *S. huaylasense*, *S. corneliomuelleri*, *S. neorickii*, *S. pennellii*, *S. peruvianum* e *S. pimpinellifolium* (DARWIN, 2009; DARWIN; KNAPP; PERALTA, 2003). Como o estabelecimento dessas espécies se deu em diferentes ambientes, favoreceu o surgimento da grande diversidade genética entre as espécies (PERALTA; KNAPP; SPOONER, 2005).

O tomateiro possui $n = 12$ cromossomos e, citologicamente, há pouca diferença entre os cromossomos das espécies. A espécie cultivada *S. lycopersicum* é diploide e apresenta $2n=2x=24$ cromossomos (PETERSON et al., 1996). As informações a respeito dos aspectos cariológicos da espécie têm possibilitado o estabelecimento de mapas físicos (CHANG et al., 2008), identificação de plantas poliploides (PRAÇA; CARVALHO; CLARINDO, 2009), identificação de híbridos interespecíficos (GAVRILENKO;

THIEME; ROKKA, 2001) e casos de mutações cromossômicas (KARSBURG; CARVALHO; CLARINDO, 2009).

A variabilidade genética presente nas espécies selvagens é de suma importância no melhoramento de plantas, por apresentar a maior parte da diversidade genética, já que o tomateiro cultivado possui apenas 5% desse total (MILLER; TANKSLEY, 1990).

Apesar de ser uma das mais importantes hortaliças cultivadas, a cultura do tomateiro é considerada de alto risco em função da grande susceptibilidade ao ataque de pragas e doenças (CARVALHO et al., 2012). Entre os diversos artrópodes-pragas que afetam a cultura, a *Bemisia argentifolii* Bellow & Perring (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) (ou *Bemisia tabaci* biótipo B), conhecida popularmente como mosca-branca, é uma das maiores preocupações na cultura do tomateiro. Essa praga é responsável por causar danos diretos à cultura, pela sucção da seiva, com consequente indução de amadurecimento irregular dos frutos, prejudicando sua qualidade comercial (TOSCANO; BOIÇA JÚNIOR; MARUYAMA, 2004). No entanto a maior preocupação se dá pelos danos indiretos, pois é vetora de vírus, como os geminivírus, causando distúrbios fisiológicos irreversíveis à planta (TAVARES, 2002).

O tomateiro é sensível quanto à umidade no solo, que deve ser suficiente para fornecer água às plantas, solubilizar os nutrientes e manter-se constante durante todo o ciclo. Grandes variações de disponibilidade de água podem ocasionar distúrbios fisiológicos como rachadura nos frutos (SRINIVASA RAO; BHATT; SADASHIVA, 2001) e podridão apical (TABATABAIE; GREGORY; HADLEY, 2004). O consumo de água pela cultura do tomateiro é bastante elevado, situando-se em torno de 580 mm (ou 5800 m³/ha) ao longo do ciclo da cultura (SANTANA et al., 2010). A quase totalidade das lavouras é irrigada, o que impõe à cultura considerável impacto ambiental, tanto diretamente pela utilização de elevadas quantidades de água via irrigação, quanto indiretamente pelo gasto de energia envolvido com sua aplicação.

1.2 Ataque de pragas e doenças na cultura do tomate

Por ser cultivado no Brasil durante todo o ano, o tomateiro está sujeito ao ataque de artrópodes-praga, que causam grandes perdas e aumentam os custos de produção da cultura, principalmente, nas épocas mais quentes, ocasionando grande variação na produtividade e no preço do tomate no mercado (PICANÇO et al., 2004). Na diversidade de artrópodes-praga da cultura do tomate, destacam-se: a mosca-branca *Bemisia tabaci* (Genn.) biótipo B (Hemiptera: Aleyrodidae), a traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick) (Lepidoptera: Gelechiidae), o microácaro *Aculops lycopersici* (Masse) (Acari: Eriofilidae), a broca pequena *Neoleucinodes elegantalis* (Guenée) (Lepidoptera: Crambidae), o tripes *Frankliniella schultzei* (Trybom) (Thysanoptera: Thripidae), os pulgões *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) e *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae) (FERNANDES; CARDOSO; MARTINELLI, 2010).

No Brasil, a mosca-branca biótipo B foi introduzida, em 1990 e, desde então, tem se mostrado como importante praga em hortícolas, sendo responsável tanto pelos danos diretos ocasionados por sua alimentação, como os indiretos pela transmissão de espécies de Begomovírus que ocasionam clorose, nanismo, amarelecimento, mosaico e alterações na conformação foliar (MICHEREFF FILHO et al., 2012).

1.2.1 Os geminivírus

Os geminivírus (família *Geminiviridae*) são divididos em quatro gêneros (*Mastrevirus*, *Curtovirus*, *Begomovirus* e *Topocuvirus*), de acordo com a gama de hospedeiro, organização do genoma e tipo de inseto vetor (FAUQUET et al., 2000). O gênero *Begomovirus* é considerado o mais importante. As espécies de vírus pertencentes a esse gênero são transmitidas por moscas-brancas, infectam plantas dicotiledôneas e possuem genoma mono ou bissegmentado (NAVAS; FIALLO; SÁNCHEZ, 2011). Esses vírus

são comumente conhecidos como geminivírus, mas também podem ser chamados de begomovírus (INOUE-NAGATA; ÁVILA; VILLAS BÔAS, 2009). Os demais gêneros são compostos por vírus com genoma contendo apenas um único componente (monossegmentado).

Atualmente 17 espécies pertencentes ao gênero *Begomovirus* são relatadas a infectar a cultura do tomateiro no Brasil, com destaque para o *Tomato rugose mosaic* (ToRMV) (FERNANDES et al., 2006), *Tomato chlorotic mottle virus* (ToCMoV) (RIBEIRO et al., 2007), *Tomato yellow spot virus* (ToYSV) (CALEGARIO et al., 2007), *Tomato golden vein virus* (TGVV), *Tomato mottle leaf curl virus* (TMoLCV), *Tomato severe rugose virus* (ToSRV) e *Tomato yellow vein streak virus* (ToYVSV) (FERNANDES et al., 2008).

De acordo com Faria et al. (1997), Ribeiro et al. (1994) e Zerbini et al. (1996), a espécie *Tomato yellow vein streak virus* (ToYVSV), de genoma bipartido, é a que predomina nas lavouras de tomate. Souza-Dias e Sawasaky (2004) relataram que *B. tabaci* biótipo B tem transmitido o *Tomato yellow vein streak virus* de tomates infectados para plantas de batata. Entretanto Fernandes et al. (2008), em levantamento de begomoviroses na região Centro-Oeste do Brasil, de 2002 a 2004, constataram que o ToSRV é uma das espécies virais de maior prevalência nas regiões produtoras de tomate. Souza (2014), por meio de amostras coletadas entre os anos de 2009 e 2011, em diversos estados da região Nordeste do Brasil e Norte de Minas Gerais, concluiu que o *Tomato mottle leaf curl virus* (TMoLCV), ainda predomina nos estados localizados na região da caatinga brasileira.

Uma grande diversidade de sintomas é observada em tomateiros infectados por geminivírus, entre eles amarelecimento na base dos folíolos e clareamento das nervuras, evoluindo para mosaico amarelo. Estes sintomas se tornam presentes em toda a planta, seguidos de rugosidade, redução de tamanho e enrolamento das bordas das folhas. Em estágio avançado, a planta apresenta redução na floração e paralisação do crescimento, com

consequente perda na produção, principalmente, se a infecção tiver ocorrido nos estádios iniciais de desenvolvimento (CARVALHO, 2009).

1.2.2 Resistência a pragas intermediada por aleloquímicos foliares

Alguns trabalhos têm demonstrado a eficiência de algumas espécies selvagens de tomateiro na resistência a insetos e ácaros, mediada pela presença de substâncias químicas (aleloquímicos) (PEREIRA et al., 2008; PIZZAMIGLIO, 1991). Dentre os aleloquímicos encontrados nas espécies selvagens, estão os acilaçúcares, sesquiterpenos e metilcetonas (CARTER; SACALIS; GIANFAGNA, 1988; GOFFREDA et al., 1989; WILLIAMS et al., 1980).

Os acilaçúcares (acilglicosos e acilsacaroses) podem ser encontrados em acessos das espécies *Solanum pennellii* (GOFFREDA et al., 1989; RESENDE et al., 2002) e *Solanum galapagense* (JOUY; BORDAT; BESSIÈRE, 1992). Os sesquiterpenos (zingibereno) são encontrados em acessos de *Solanum habrochaites* var. *hirsutum* como o ‘PI-127826’ (CARTER; SACALIS; GIANFAGNA, 1988) e as metilcetonas (2-tridecanona) em acessos de *Solanum habrochaites* var. *glabratum* como o ‘PI-134417’ (MALUF; BARBOSA, 1996; WILLIAMS et al., 1980).

Os acilaçúcares (AA) conferem à superfície foliar um aspecto pegajoso, funcionando como uma armadilha natural, além de impedir a ovoposição, a alimentação ou exercendo efeito adverso no desenvolvimento de determinados artrópodes-pragas (GILLARDÓN et al., 2001). Pamplona et al. (2001), avaliando genótipos F₂ de tomateiro selecionados para alto teor de acilaçúcares, a partir do cruzamento interespecífico *S. lycopersicum* x *S. pennellii*, encontraram altos níveis de resistência a mosca-branca, com menor índice de ovoposição e 100% de mortalidade dos adultos que ficaram presos nos exsudados. Híbridos F₁ obtidos do cruzamento do tomateiro domesticado com as espécies *S. pennellii* e *S. galapagense*, causaram alta mortalidade de ninfas do pulgão *M. persicae* após quatro dias do

confinamento dos insetos sobre a face adaxial dos folíolos da planta (SIMMONS; MCGRATH; GURR, 2005).

Maluf et al. (2010) avaliando a resistência de linhagens de tomateiro com alto teor de acilaçúcares a pragas de relevante importância econômica (ácaro *Tetranychus urticae* Koch, mosca-branca *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring, e traça-do-tomateiro *Tuta absoluta* (Meyrick)), demonstraram a eficiência destes aleloquímicos foliares como mecanismos de resistência. Gonçalves Neto et al. (2010) avaliando genótipos de tomateiro ricos em acilaçúcares obtidos a partir de cruzamento interespecífico *S. lycopersicum* x *S. pennellii* 'LA-716', encontraram menor ovoposição da traça e níveis inferiores de danos causados à planta, do que em genótipos com baixos teores deste aleloquímico. Firdaus et al. (2012) relataram que o acesso *S. galapagense* 'PRI95004/PY-8027' se destacou, por apresentar maiores níveis de resistência, pelos mecanismos de não preferência para ovoposição e antibiose, a adultos *B. tabaci* biótipo B. Houve alta correlação entre o maior nível de resistência e alta densidade de tricomas tipo IV, que produzem acilaçúcares e tornam as folhas mais pegajosas.

O zingibereno (ZGB) é outro aleloquímico natural, biologicamente ativo, que confere resistência a artrópodes-praga (WESTON; SNYDER, 1990), e possui correlação positiva com os tricomas glandulares tipos IV e VI (FREITAS et al., 2002). O acesso *Solanum habrochaites* var. *hirsutum* 'PI-127826', rico em zingibereno, é resistente ao ácaro *Tetranychus urticae* (WESTON et al., 1989). Freitas (1999) e Gonçalves et al. (2006) relataram a resistência a inúmeras pragas condicionada pela presença do zingibereno em linhagens melhoradas de tomateiro. Freitas et al. (2002) comprovaram a efetividade do ZGB na resistência a mosca-branca em genótipos F₂ do cruzamento interespecífico entre *Solanum lycopersicum* 'TOM-556' x *S. habrochaites* var. *hirsutum* 'PI-127826'.

Silva et al. (2009) avaliando híbridos de tomateiro resultantes do cruzamento de linhagens ricas em ZGB x linhagens ricas em AA,

verificaram que os genótipos duplos heterozigotos apresentam graus de resistência à mosca-branca *Bemisia argentifolii* superiores aos das testemunhas comerciais, e argumentaram que esses genótipos ricos simultaneamente em ZGB e AA também poderiam atuar como barreira mais efetiva contra biótipos de artrópodos-praga que viessem a quebrar a resistência mediada por apenas um dos aleloquímicos isoladamente

Os aleloquímicos 2-tridecanona (2-TD) e 2-undecanona, presentes, principalmente, no ápice do tricoma glandular tipo IV, abundantes no acesso selvagem *S. habrochaites* var. *glabratum*, são considerados os principais fatores de resistência a insetos-pragas presentes na espécie (WILLIAMS et al., 1980). Neiva et al. (2013), avaliando linhagens avançadas de tomateiro, encontraram TOM-622 (rico em 2-tridecanona), ZGB-703 (rico em zingibereno) e TOM-687 (rico em acilaçúcares) com níveis de resistência à mosca-branca bem superiores aos controles, com baixos teores destes aleloquímicos (TOM-584 e TOM-679).

Oliveira et al. (2012) encontraram em genótipos de tomateiro ricos nos aleloquímicos AA, ZGB e 2-TD, níveis de resistência à traça-do-tomateiro superiores às testemunhas suscetíveis, com baixos teores destes aleloquímicos. Silva et al. (2013), avaliando a resistência de genótipos de tomateiro com altos teores de AA, ZGB e 2-TD ao *Myzus persicae*, encontraram nas linhagens TOM-687 e TOM-688 (ricos em AA), e nas linhagens BPX-365G-899-07-04-02 e BPX-367E-238-02 (ricos em 2-TD) resistência do tipo antibiose ao pulgão; para os genótipos com altos teores de zingibereno, não foi encontrado efeito no desenvolvimento do pulgão.

1.2.3 Resistência a pragas associada ao gene *Mi*

O gene *Mi* é conhecido por conferir resistência ao nematoide do gênero de *Meloidogyne* spp. em tomateiro, a qual se caracteriza por uma resposta de hipersensibilidade (HR), provocando mudanças histológicas, como a morte celular próxima ao sítio de infecção do juvenil de segundo

estádio do agente patogênico (DROPKIN, 1969). É amplamente empregado em programas de melhoramento genético do tomateiro.

A constatação de que o gene *Mi* possa contribuir na resistência a outras espécies de artrópodes-pragas já vem se evidenciando nas últimas décadas. A efetividade do gene *Mi* em promover níveis de tolerância ao pulgão-da-batata *Macrosiphum euphorbiae* (Thomas) (Hemiptera: Aphididae) em tomateiro, foi comprovada por Rossi et al. (1998). O efeito do gene *Mi* em conferir resistência a outras pragas de importância econômica, também foi comprovada, para a mosca-branca (*Bemisia tabaci*) por Nombela, Williamson e Muniz (2003), ao psilídeo (*Bactericerca cockerelli*) do tomate por Casteel, Walling e Paine (2006) e ao pulgão (*Macrosiphum euphorbiae*) por Rossi et al. (1998).

O gene *Mi*, ou outro ligado a ele, reduz em até 50% o número de fêmeas e adultos de mosca-branca por planta em cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum*), quando comparado aos genótipos que não possuem o gene *Mi* (NOMBELA; BEITIA; MUÑIZ, 2000). Marchese (2013) comparou o nível de resistência à mosca-branca proporcionado por AA ao conferido pelo gene *Mi*, encontrando um nível de resistência mediada por AA (TOM-687 e TOM-688) superior ao nível mediado pelo gene *Mi* (TOM-684 e TOM-598) em linhagens de tomateiro. No mencionado trabalho, TOM-687 e TOM-688 (altos teores de AA) apresentaram uma redução de cerca de 51% para ovos e ninfas, enquanto TOM-684 e TOM-598 (portadores do gene *Mi*) apresentaram uma redução de 22% em relação à ‘Santa Clara’.

Oliveira (2015) comparou o efeito do gene *Mi* com os dos aleloquímicos AA e ZGB quanto à resistência de linhagens de tomateiro à mosca-branca. O autor destacou que tanto o ZGB quanto o AA, isoladamente ou simultaneamente, proporciona maiores níveis de resistência, apresentando número de ovos e ninfas inferiores à linhagem portadora do gene *Mi* apenas. No entanto, esta foi por sua vez mais resistente do que as testemunhas suscetíveis.

1.2.4 Melhoramento do tomateiro visando resistência a geminivírus

Apesar de ser muito utilizado, o controle químico dos vetores de geminivírus pode ser prejudicado pela possível seleção de insetos com biótipos resistentes, e pode ocasionar a intoxicação do aplicador, bem como a redução da população de inimigos naturais (OLIVEIRA, 2015). Desta forma, a obtenção de cultivares com algum grau de resistência, associadas ao manejo adequado da cultura, constitui um dos caminhos mais promissores para o controle da doença (LIMA; BATISTA; COSTA, 2005).

Os programas de melhoramento têm-se baseado na busca por genes/alelos de resistência em espécies selvagens e na sua introgressão em genótipos comerciais, visando à obtenção de uma resistência ampla e estável (BOITEUX et al., 2012). O gene *Ty-1*, localizado no cromossomo 6 e proveniente da espécie selvagem *Solanum chilense*, é encontrado em diversas linhagens com resistência a isolados de geminivírus da França, Israel, Flórida (EUA) e das Américas (ZAKAY et al., 1991). A expressão fenotípica da resistência conferida pelo locus *Ty-1* é maior em linhas homozigotas e mais eficiente em condições de baixo inóculo (MACHADO, 2013).

O cenário do mercado brasileiro mostra que a maioria das variedades de tomateiro é, principalmente, portadora do gene *Ty-1*, que confere resistência ao *Tomato yellow leaf curl vírus* (TYLCV), um geminivírus do gênero begomovírus com genoma monossegmentado que não ocorre no Brasil. O TYLCV é o begomovírus mais agressivo em tomateiro nas regiões onde ocorre, daí a importância em incorporar fontes de resistência a este vírus nas variedades e híbridos disponíveis no mercado. No entanto o gene *Ty-1* oferece, também, tolerância aos vírus com genoma bissegmentado, predominantes no Brasil (SANTANA et al., 2001). Entre 1994 e 2007, 16 novas espécies de begomovírus com genoma bissegmentado foram descritas infectando tomateiros no Brasil (CALEGARIO et al., 2007).

Em busca de novas fontes ou genes de resistência, levou-se à descoberta e introgressão do gene *Ty-2*, localizado no cromossomo 11 da espécie selvagem *S. habrochaites*. Acessos com esse locus apresentaram uma eficiência relativa contra isolados de begomovírus do Brasil (BOITEUX et al., 2007), assim como contra isolados de TYLCV (HANSON et al., 2000; JI et al., 2007). Outros dois genes *Ty-3* e *Ty-4* foram descobertos em acessos de *S. chilense* e localizados nos cromossomos 6 e 3, respectivamente. O gene *Ty-3* tem sido utilizado em programas de melhoramento genético do tomateiro para conferir resistência ao TYLCV e ao *Tomato mottle vírus* (ToMoV) na Florida, EUA (JI et al., 2008; JI; SCHUSTER; SCOTT, 2007). Por sua vez, o locus *Ty-4* apresenta um efeito menor que o conferido pelo *Ty-3* e não se mostrou efetivo contra todos os isolados de TYLCV (JI; SCOTT; SCHUSTER, 2009).

A busca por alternativas que permitam aumentar o grau de resistência ao geminivírus pode ser encontrada no uso de fontes de resistência aos vetores dessa doença. A introgressão de aleloquímicos, como zingibereno (ZGB) e acilaçúcares (AA), ou do gene *Mi* (que confere resistência a nematoides) em tomateiros, podem influenciar na resistência a geminivírus, por conferir algum grau de resistência ao inseto-vetor do vírus (mosca-branca) (MARCHESE, 2013; OLIVEIRA, 2015).

1.3 Estresse hídrico na cultura do tomate

Uma planta pode estar submetida a vários tipos de estresses ambientais. Tratando-se de disponibilidade hídrica, a planta pode sofrer injúrias tanto por excesso como por falta de água, mas como o estresse por deficiência é mais comum na natureza, esse termo tem sido abreviado para *estresse hídrico* ou *déficit hídrico*, gerando conflito quanto ao termo correto a ser utilizado (ANGELOCCI, 2002). Desta forma, deficiência hídrica pode ser definida como todo o conteúdo de água de um tecido ou célula que está

abaixo do conteúdo de água mais alto exibido no estado de maior hidratação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O tomate tem grande exigência quanto à umidade no solo, que deve ser suficiente para fornecer água às plantas, solubilizar os nutrientes e manter-se constante durante todo o ciclo (SRINIVASA RAO; BHATT; SADASHIVA, 2001). Entretanto não pode haver água em excesso a ponto de saturar o solo e retirar o oxigênio da zona radicular. Na fase inicial da cultura, a necessidade de água é menor, aumentando, substancialmente, durante a fase de frutificação. Recomenda-se a seguinte quantidade de água: 4 mm/dia⁻¹ (após o transplante até a abertura das primeiras flores); 6 mm/dia⁻¹ (início da floração até o início da maturação dos frutos) e 7 mm/dia⁻¹ (após o início da maturação dos frutos) (FAVATI et al., 2009).

A deficiência hídrica é um dos fatores de estresse que vem causando grandes reduções na produtividade, em razão dos danos nos processos fisiológicos e metabólicos das plantas (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013). As oscilações do teor de umidade do solo podem provocar rachaduras nos frutos, podridão apical, ocorrência de frutos ocos, queda de flores, além da redução no estabelecimento dos frutos (OZBAHCE; TARI, 2010). O excesso de água, por sua vez, pode causar o crescimento vegetativo excessivo, atraso na maturação e maior ocorrência de doenças.

A diminuição do teor de água no solo afeta, acentuadamente, alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são, relativamente, insensíveis (KELLING, 1995). A extensão dos efeitos da deficiência hídrica nas espécies vegetais depende da sua intensidade, da duração e da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente (SANTOS; CARLESSO, 1998).

A adaptação e a aclimação aos estresses ambientais resultam de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização: anatômico, morfológico, celular, bioquímico e molecular (PIMENTEL, 2004). Nos estádios iniciais de déficit hídrico, as plantas reduzem seu tamanho por meio da redução do crescimento e do número de folhas. Estas

modificações são úteis para minimizar a perda excessiva de água e conservar a água disponível (CHAVES; OLIVEIRA, 2004). Em contrapartida, as raízes podem usar mais energia, para o seu crescimento, buscando umidade em profundidade, ocorrendo isso pela redistribuição dos fotoassimilados pela redução de consumo na parte superior da planta.

Essas mudanças na folha e no crescimento das raízes ocorrem sob condições de déficit hídrico lento, ou seja, quando a desidratação ocorre em longo prazo. Quando a desidratação é rápida, as plantas usam diferentes mecanismos, para reduzir a perda de água, por meio da transpiração, como, por exemplo, o fechamento dos estômatos. Os estômatos são fechados por uma diminuição da pressão de turgor nas células-guarda que pode ser induzida pela perda de água direta para o ar (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003). Uma das consequências imediatas do fechamento estomático é a redução da absorção de CO₂, visto que quanto mais prolongado for o fechamento estomático, menor será a fotossíntese da planta (ROYER, 2001).

Vários indicadores de déficit hídrico são descritos na literatura e podem ser úteis num programa de melhoramento visando à seleção de plantas resistentes ao déficit hídrico. Dentre as alterações apresentadas pelos tomateiros sujeitos à deficiência hídrica e que serão tratadas neste trabalho, podem-se destacar: o surgimento de podridão apical, abortamento floral, variações na densidade estomática, no conteúdo de clorofila, na condutância estomática e na fotossíntese. Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

1.3.1 Podridão apical

A podridão apical do tomate (PA) é caracterizada pelo aparecimento de tecido necrótico na parte distal do fruto. Geralmente, ocorre nas primeiras

semanas após a antese (SUZUKI; SHONO; EGAWA, 2003). Há cerca de 100 anos, a PA do tomate foi identificada como uma desordem fisiológica e há 60 anos é chamada de desordem relacionada à deficiência de cálcio (ARRUDA JÚNIOR et al., 2011). Apesar de intensamente estudada nos últimos 100 anos, a PA não é, ainda, completamente entendida.

A PA está relacionada à suscetibilidade a diversos estresses pelo aumento na concentração de giberelina, resultando em acentuado decréscimo, na concentração de cálcio, causando aumento na permeabilidade das membranas celulares (SAURE, 2001). O mesmo autor afirma que a ocorrência de algum estresse acima de determinada intensidade, como déficit hídrico, altas concentrações salinas ou de NH_4^+ e altas temperaturas, provocam a deterioração das membranas das células do fruto, principalmente, as recém-formadas com subsequente perda de turgor.

Outra explicação, para a ocorrência de PA, é a expressão de algum gene em condições de estresse, não sendo o cálcio responsável direto pela anomalia (NONAMI et al., 1995). Assim, práticas culturais ou estratégias antiestressantes, tais como adequadas condições no solo para crescimento da raiz, suprimento balanceado de nutrientes, principalmente, do nitrogênio, baixa salinidade na rizosfera, suprimento apropriado de água, plantio em condição de temperaturas amenas, são exemplos de procedimentos de difícil controle, mas que, praticamente, resultam em ausência de PA em cultivar “tolerante” (FONTES, 2003).

Cabe ressaltar, ainda, que o estresse por déficit hídrico, muitas vezes, está associado ao estresse salino, pois o aumento da condutividade elétrica, também, pode restringir a absorção de cálcio pela redução da absorção de água pelas raízes, aumentando a incidência de podridão apical e de rachaduras (PARRA TERRAZA et al., 2008).

1.3.2 Abortamento floral

A flor do tomateiro é regular e hipógina, com cinco ou mais sépalas, cinco ou mais pétalas dispostas de forma helicoidal, com o mesmo número de estames e com ovário bi ou plurilocular. A inflorescência é composta por número variável de flores, que formam os racemos, com flores pequenas e amarelas (ALVARENGA, 2013).

Segundo Kinet e Peet (2002), nas flores de tomateiro, por serem hermafroditas e pela existência do cone de anteras, o sistema reprodutivo varia, consideravelmente, conforme o comprimento do estilo e a posição relativa do estigma, em relação ao cone de anteras, predominando a autogamia nas cultivares modernas, pois, nestas, predomina o estigma em uma posição abaixo do cone de anteras. Normalmente, a polinização ocorre no momento da antese da flor.

Para ocorrer o pegamento do fruto, que indica a proporção de flores que atinge a antese e fixa os frutos que desenvolvem normalmente até a colheita, uma sequência de processos deve ocorrer, incluindo polinização, germinação dos grãos de pólen, crescimento do tubo polínico e fertilização. Estudos têm indicado a existência de fatores que influenciam diretamente na fixação de frutos, abscisão de flores e na esterilidade do pólen (HOWLETT, 1936).

A falta de umidade no solo, em função de longos períodos secos ou do manejo inadequado da irrigação, é um dos principais fatores para o abortamento de flores e queda de botões florais (ALVARENGA, 2013). Segundo Marouelli e Silva (2006), o emprego de baixas lâminas de irrigação, durante a fase final de florescimento e o início da frutificação, resulta em menor quantidade de frutos e pode estar relacionadas com um menor crescimento das plantas, maior queda de flores e com o abortamento de frutos.

O abortamento floral também pode ser em virtude do ataque de pragas e doenças, pelo excesso ou deficiência de nitrogênio e/ou

desequilíbrio nutricional (LAVIOLA; DIAS, 2008), pela umidade relativa do ar, pela ocorrência de ventos fortes e da produção insuficiente de fotoassimilados em relação ao grande número de flores produzidas (PICANÇO et al., 1998), além da sensibilidade às temperaturas (SMITH, 1935).

Temperaturas extremas, elevadas ou baixas, podem resultar em redução do número de frutos: de maneira geral, temperaturas inferiores a 10°C ou superiores a 30°C prejudicam o pegamento de frutos em tomateiro (PICKEN, 1984). Segundo Gusmão, Gusmão e Araújo (2006), a queda de flores do tomateiro cultivado em ambiente com temperaturas diurnas acima de 32°C é em razão da inviabilidade do grão de pólen e a não fertilização dos óvulos. Em tais condições, Silva, Leite e Braz (2000) ressaltam que o crescimento do tubo polínico é lento e seu desenvolvimento pode dar lugar ao envelhecimento do óvulo antes que ocorra a fecundação.

Em tomateiro, a umidade relativa ótima oscila entre 60 a 80%. Umidade relativa muito elevada favorece o desenvolvimento de doenças na parte aérea e dificulta a fecundação em virtude do pólen ficar compactado, resultando no aborto de flores. Por outro lado, umidade relativa muito baixa dificulta a fixação do pólen no estigma da flor reduzindo o índice de pegamento de frutos. O não pegamento dos frutos, assim como a formação de frutos pequenos e defeituosos, que podem ocorrer por falhas na polinização, resultam em perda de produção (KINET; PEET, 2002).

1.3.3 Densidade estomática

O estômato consiste de um par de células-guarda, o poro estomático, e células subsidiárias, as células subsidiárias circundam as células-guarda auxiliando no controle dos poros estomáticos. A morfologia das células-guarda pode variar conforme a espécie das plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). A quantidade, distribuição, tamanho, forma e mobilidade dos estômatos são características de cada espécie e podem ser alteradas em função das

adaptações às condições ambientais. A folha do tomate é anfiestomática, ou seja, possui estômatos em ambos os lados e a superfície abaxial mostra um maior número de estômatos do que a face adaxial (FLORES; ESPINOZA, 1977).

Em algumas espécies, há uma fraca associação entre o crescimento da folha e a densidade estomática (ZWIENIECKI et al., 2004), de modo que o ajuste da expansão foliar influenciado pelas diferenças na intensidade luminosa e na disponibilidade hídrica, pode definir a quantidade de estômatos de uma folha no decorrer do processo de crescimento (KOUWENBERG; KÜRSCHNER; VISSCHER, 2004). As variações nas dimensões e frequência de estômatos têm grande importância nas diferenças de regulação das trocas gasosas (ANGELOCCI, 2002).

A regulação da abertura e fechamento estomático é um processo extremamente complexo, envolvendo fatores do ambiente e da própria planta. O ácido abscísico (ABA) estimula o fechamento dos estômatos em muitas espécies vegetais, desde que sua síntese seja estimulada pela deficiência hídrica. Então, com um ligeiro ressecamento do solo, mesmo que não afete as relações hídricas da parte aérea, causa aumento na concentração de ABA no xilema, provavelmente produzido na coifa das raízes, levando assim, ao fechamento estomático (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005).

O fechamento dos estômatos restringe a troca de gases entre o interior da folha e a atmosfera, causando diminuição na assimilação de CO₂, que é utilizado no processo fotossintético, diminuindo a atividade carboxilase e aumentando a atividade oxigenase da Rubisco (ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase). O ABA afeta o grau de abertura estomática, controlando o influxo e efluxo de K⁺ nas células guardas, assim como os de Cl⁻ e ácidos orgânicos na plasmalema e tonoplasto dessas células, para o balanço iônico. Este processo controlará a entrada ou saída de água nas células guardas e o conseqüente movimento estomático (ANGELOCCI, 2002; PIMENTEL, 1998).

O fechamento estomático é um mecanismo útil de tolerância à seca e, quando há reidratação da cultura em questão, os estômatos conseguem melhorar o potencial hídrico da folha, mas os estômatos podem não recuperar-se, totalmente, pois a complexidade de resposta do estômato irá depender do genótipo e da intensidade da seca (SMIT; SINGELS, 2006).

1.3.4 Trocas gasosas: condutância estomática, fotossíntese e transpiração

As trocas gasosas atuam no balanço energético das folhas, participando da regulação de sua temperatura, de maneira a deixá-la dentro da faixa de valores adequados aos processos fisiológicos das plantas e de sua adaptação ao ambiente. O controle das trocas gasosas é considerado um processo complexo, uma vez que, se ocorrer ligeira diminuição de turgescência celular, suficiente para causar o fechamento dos estômatos, vai tornar a absorção de dióxido de carbono, extremamente, difícil, diminuindo, sensivelmente, a atividade de assimilação de carbono. Assim, por um lado, elas necessitam abrir os estômatos para a entrada do CO₂ e, por outro lado, também, fechá-los, para evitar a perda de água, porém a tendência é favorecer a assimilação fotossintética (ANGELOCCI, 2002; PIMENTEL, 1998).

O fechamento dos estômatos é uma das primeiras respostas à seca, com o objetivo de reduzir a perda de água. Essa regulação estomática é muito complexa e pouco compreendida (BERNIER et al., 2008), podendo ser uma consequência da resposta das células das folhas ao déficit hídrico. Em menor escala pode ser uma consequência do baixo status de água na raiz, induzindo o fechamento dos estômatos na folha por meio da sinalização com ácido abscísico (MEDRANO et al., 2002). Por outro lado, a manutenção da transpiração, em condições de déficit hídrico, sem a redução do potencial de água da folha, pode ser um indicativo de que as plantas possuem mecanismos de tolerância ao estresse hídrico. Cultivares de arroz

conhecidas pela resistência à seca não estavam associadas com a eficiência no uso da água, mas com a capacidade de manter alta transpiração sob condições de déficit hídrico, por um sistema radicular profundo e denso (BLUM, 2005).

Em condições de estresse hídrico, as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta, de acordo com a espécie, tanto por limitações difusivas, restringindo a disponibilidade de dióxido de carbono para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório (GONÇALVES et al., 2010). Diversos são os trabalhos que mostram a influência da deficiência hídrica nas trocas gasosas sobre as culturas, em especial, sobre em tomate. Morales et al. (2015) concluíram que plantas de tomateiro submetidas ao déficit hídrico reduzem a taxa fotossintética, a transpiração, a condutância estomática e aumentam a temperatura foliar. Soares et al. (2012) verificaram que a condutância estomática do tomateiro é a variável fisiológica mais sensível à redução das lâminas de água. Easlon e Richards (2009) encontraram, nas condições de 100 % da capacidade de campo, condutância média de $0,56 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, contudo, após o período de 20 dias sob déficit hídrico, com 20 % da capacidade de campo, a condutância reduziu para $0,14 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Esses estudos, em geral, têm demonstrado a diminuição da atividade fotossintética sob condições de estresse por déficit hídrico pelas reduções entre as trocas gasosas da planta com o ambiente, podendo ocasionar a redução do rendimento da cultura. Num caso extremo, em que as perdas por transpiração podem afetar, irreversivelmente, o crescimento ou a sobrevivência da planta, os estômatos tendem a fechar completamente (PIMENTEL, 1998).

Outras respostas podem ocorrer juntamente com o fechamento dos estômatos, como a alteração na síntese de clorofila, alterações funcionais e estruturais em cloroplastos e distúrbios nos processos de acumulação, transporte e distribuição de assimilados (ANJUM et al., 2011). Por esses

motivos, a utilização da condutância estomática e da fotossíntese, para seleção de plantas tolerantes à seca, deve ser mais bem estudada.

1.3.5 Melhoramento genético para resistência ao déficit hídrico

A extensa distribuição geográfica do gênero *Solanum*, secção *Lycopersicum*, permite-lhe ocupar diferentes habitats com diversas condições ambientais, o que evidencia sua variabilidade genética (ALVARENGA, 2013). Algumas espécies selvagens de tomateiro são capazes de crescer e se reproduzir em ambientes que apresentam quantidades mínimas de água, pois essas eram as condições do seu ambiente nativo (ROUSSEAU et al., 2005). Assim, essas espécies podem servir como fonte genética de caracteres morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, que podem ser úteis em programas de melhoramento. A introdução dessas características em germoplasma comercial, por meio do melhoramento genético, possibilitará a produção de tomate, em ambientes áridos, que possuam disponibilidade limitada de água. Dentre as principais espécies selvagens que se desenvolvem em ambientes áridos, destacam-se o *Solanum pennellii* e o *S. chilense* (TAYLOR, 1986).

A introgressão de caracteres de interesse agrônomo para tolerância à seca por meio do melhoramento convencional é à base de vários programas de melhoramento. Entretanto a compreensão dos mecanismos genéticos e fisiológicos que controlam a eficiência do uso da água e da resistência das plantas à seca, ainda, é limitada. Na cultura do tomateiro, uma alternativa, para facilitar os estudos básicos, foi o cruzamento de espécies selvagens com microtomateiros, pois apresentam porte reduzido, variando entre 10 e 15 cm, o que permite alta densidade com economia de espaço, em casa de vegetação, condição que permite trabalhos com grandes populações. Outro fator fundamental é o seu ciclo curto, o que permite a colheita de frutos maduros 70 a 90 dias após a semeadura. Essas características tornam o

microtomateiro semelhante à espécie *Arabidopsis*, constituindo-se em ferramenta preferencial para pesquisas em tomateiro (SUN et al., 2006).

Os principais avanços, no sentido de incorporar resistência a déficits hídricos em tomateiro, foram obtidos com o cruzamento da espécie selvagem *S. pennellii* com os microtomateiros, obtendo-se uma linhagem denominada WELL, um acrônimo para “Water Economy Locus in *Lycopersicum*” (ZSÖGÖN, 2012). Nesse caso, fez-se a introgressão de um locus da espécie selvagem no microtomateiro, sendo esse locus responsável por aumentar a eficiência no uso da água. Contudo essa cultivar, ainda, não está num *background* comercial, devendo-se realizar estudos, para verificar a sua real utilidade, para obtenção de cultivares comerciais de tomateiro com maior eficiência no uso de água e/ou tolerantes à seca.

A partir da linhagem WELL, foram feitos retrocruzamentos adicionais, para linhagens-elite de tomateiro e obtiveram-se 20 famílias já com características próximas de materiais comerciais (MORALES, 2012). Estas famílias foram testadas sob deficit hídrico por meio da suspensão da irrigação aos 35 dias após o transplante das mudas para o campo (MORALES, 2012). As famílias denominadas T5 e T9 destacaram-se por apresentar baixa incidência de podridão apical (PA) e maior conteúdo relativo de água (CRA) na folha. Em experimento realizado, em Lavras-MG, em estufa, a linhagem-elite TOM-684 apresentou 80,4% dos frutos com podridão apical, enquanto as famílias T5 e T9 apresentaram 12,2% e 24,0%, respectivamente. Em experimento, também, em estufa, em Ijaci-MG, a linhagem-elite TOM-684, utilizada como testemunha, apresentou 81,1% dos frutos com podridão apical, enquanto T5 e T9 apresentaram 16,5% e 18,5%, respectivamente, sendo consideradas como tolerantes ao estresse hídrico.

Apesar de suas limitações agronômicas atuais (desuniformidade de frutos e suscetibilidade a algumas pragas e doenças-chave da cultura), as famílias T5 e T9 poderão ser empregadas, em programas de melhoramento, visando a obter novas linhagens-elite de tomateiro, também, tolerantes ao estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP consultoria, 2015. 521 p.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate, produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**: origem botânica e descrição da planta. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do autor. 2002. 272 p.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Lesotho, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.
- ARRUDA JÚNIOR, S. J. et al. Podridão apical e produtividade do tomateiro em função dos teores de cálcio e amônio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 20-26, 2011.
- BERNIER, J. et al. Breeding upland rice for drought resistance. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 88, n. 6, p. 927-939, 2008.
- BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential -are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 56, n. 1, p. 1159-1168, 2005.
- BOITEUX, L. S. et al. Melhoramento para resistência a doenças virais. In: BORÉM A; FRITSCH-NETO R. (Ed.). **Melhoramento de plantas para condições de estresses bióticos**. Visconde de Rio Branco: Suprema, 2012. p. 89-119.
- BOITEUX, L. S. et al. Reação de acessos de tomateiro portando o gene *Ty-2* (introgredido de *Solanum habrochaites* f. *glabratum*) a um isolado de begomovírus de genoma bipartido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 97, 2007.
- CALEGARIO, R. F. et al. Characterization of Tomato yellow spot virus, a novel tomato-infecting begomovirus in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1335-1343, 2007.
- CARTER, C. D.; SACALIS, J. N.; GIANFAGNA, T. J. Resistance to Colorado Potato Beetle in relation to zingiberene content of *Lycopersicum* species. **Report of Tomato Genetics Cooperative**, New York, v. 38, n. 1, p. 11-12, Sept. 1988.

CARVALHO, J. R. et al. Seletividade de fungicidas utilizados na cultura do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a *Trichogramma pretiosum*. **Nucleus**, Ituverava, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2012.

CARVALHO, R. C. P. **Expressão fenotípica e mecanismos de ação de genes envolvidos na resistência ampla a begomovírus monopartidos e bipartidos em tomate**. 2009. 196 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CASTEEL, C. L.; WALLING, L. L.; PAINE, T. D. Behavior and biology of the tomato psyllid, *Bactericerca cockerelli*, in response to the *Mi-1.2* gene. **Entomologia Experimentalis et Applicata**, Dordrecht, v. 121, p. 67–72, 2006.

CHANG, S. B. et al. FISH mapping and molecular organization of the major repetitive sequences of tomato. **Chromosome Research**, Oxford, v. 16, p. 919-933, 2008.

CHAVES, M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, p. 2365- 2384. 2004.

DARWIN, S. C.; KNAPP, S.; PERALTA, I. E. Taxonomy of tomatoes in the Galápagos Islands: native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (Solanaceae). **Systematics and Biodiversity**, Cambridge, v. 1, p. 29-53, 2003.

DARWIN, S. C. **The systematics and genetics of tomatoes on the Galápagos Islands (*Solanum*, Solanaceae)**. 2009. 261 p. Thesis (Doctorat of Philosophy) - University College, London, 2009.

DROPKIN, V. H. The necrotic reaction of tomatoes and other hosts resistant to Meloidogyne: reversal by temperature. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 59, n. 11, p. 1632-1637, 1969.

EASLON, H. M.; RICHARDS, J. H. Drought response in self-compatible species of tomato (Solanaceae). **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 96, n. 3, p. 605-611, 2009.

FARIA, J. C. et al. A new geminivirus associated with tomato in the State of São Paulo, Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, p. 423, 1997.

FAUQUET, C. M. et al. Revised proposal for naming geminiviruses. **Archives of Virology**, New York, v. 145, p. 1743–61, 2000.

FAVATI, F. et al. Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 4, p. 562-571, 2009.

FERNANDES, F. R. et al. Diversity and prevalence of Brazilian bipartite begomovirus species associated to tomatoes. **Virus Genes**, Norwell Mass, n. 36, p. 251-258, 2008.

FERNANDES, J. J. et al. Biological and molecular properties of *Tomato rugose mosaic virus* (ToRMV), a new tomato-infecting *Begomovirus* from Brazil, **Plant Pathology**, Oxford, v. 55, p. 513-522, 2006.

FERNANDES, O. A.; CARDOSO, A. M.; MARTINELLI, S. **Manejo integrado de pragas do tomate**: manual de reconhecimento das pragas e táticas de controle. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2010. 39 p.

FIRDAUS, S. et al. Resistance to *Bemisia tabaci* in tomato wild relatives. **Euphytica**, Wageningen, v. 187, p. 31-45, 2012.

FLORES, E. M.; ESPINOZA, A. M. Morfología foliar de *Lycopersicon esculentum* Mill. (Solanaceae). **Revista de Biología Tropical**, San José, v. 25, n. 2, p. 289-299, 1977.

FONTES, P. C. R. Podridão apical do tomate, queima dos bordos das folhas de alface e depressão amarga dos frutos em maçã: deficiência de Ca? **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 145-145, 2003.

FONTES, P. C. R.; SILVA, D. J. H. Cultura do tomate. In:_____.
FONTES, P. C. R. (Ed.). **Olericultura**: teoria e prática. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 457-475.

FREITAS, J. A. et al. Inheritance of foliar zingiberene contents and their relationship to trichome densities and whitefly resistance in tomatoes. **Euphytica**, Wageningen, v. 127, p. 275-287, 2002.

FREITAS, J. A. **Resistência genética do tomateiro *lycopersicon* spp. à mosca-branca *Bemisia* spp. mediada por zingibereno contida em tricomas glandulares**. 1999. 93 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

GAVRILENKO, T.; THIEME, R. V.; ROKKA, V. M. Cytogenetic analysis of *Lycopersicon esculentum* (+) *Solanum etuberosum* somatic hybrids and their androgenetic regenerants. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 103, p. 231-239, 2001.

GILLARDÓN, E. et al. Papel da 2-tridecanona e dos tricomas glandulares tipo VI na resistência do tomateiro a *Tuta absoluta*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 7, p. 929-933, 2001.

GOFFREDA, J. C. et al. Aphid deterrence by glucose esters in glandular trichome exudate of wild tomato, *Lycopersicon pennellii*. **Journal of Chemical Ecology**, New York, v. 15, n. 7, p. 2137-2147, July 1989.

GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedade de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GONÇALVES, L. D. et al. Relação entre zingibereno, tricomas foliares e repelência de tomateiros a *Tetranychus evansi*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 2, p. 267-273, fev. 2006.

GONÇALVES NETO, A. C. et al. Resistência à traça-do-tomateiro em plantas com altos teores de acilaçúcares nas folhas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 2, p. 203-208, abr./jun. 2010.

GUSMÃO, M. T. A.; GUSMÃO, S. A. L.; ARAÚJO, J. A. C. Produtividade de tomate tipo cereja cultivado em ambiente protegido em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 431-436, 2006.

HANSON, P. M. et al. Mapping a wild tomato introgression associated with Tomato yellow leaf curl virus resistance in a cultivated tomato line. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 125, p. 15-20, 2000.

HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, New York, v. 424, n. 24, p. 901-908, 2003.

HOWLETT, F. S. The effect of carbohydrate and of nitrogen deficiency upon microsporogenesis and the development of the male gametophyte in the tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. **Annals of Botany**, London, v. 50, p. 767-803, 1936.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

INOUE-NAGATA, A. K.; ÁVILA, A. C.; VILLAS BÔAS, G. L. **Os geminivírus em sistema de produção integrada de tomate indústria**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 12 p. (Circular Técnica, 71).

JI, Y.; SCOTT, J. W.; SCHUSTER, D. J. Molecular mapping of *Ty-4*, a new tomato yellow leaf curl virus resistance locus on chromosome 3 of tomato. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 134, n. 2, p. 281–288, 2009.

JI, Y. et al. Sources of resistance, inheritance, and location of genetic loci conferring resistance to members of the tomato-infecting begomoviruses. In: CZOSNEK H (Ed.). **Tomato yellow leaf curl virus disease: management, molecular biology, breeding for resistance**. Dordrecht: Kluwer, 2007. p. 343-362.

JI, Y. et al. *Ty-4*, a tomato yellow leaf curl virus resistance gene on chromosome 3 of tomato. **Report of the Tomato Genetics Cooperative**, Gainesville, v. 58, p. 29-31, 2008.

JI, Y.; SCHUSTER, D. J.; SCOTT, J. W. *Ty-3*, a begomovirus resistance locus near the *Tomato yellow leaf curl virus* resistance locus *Ty-1* on chromosome 6 of tomato. **Molecular Breeding**, Dordrecht, v. 20, p. 271-284, 2007.

JOUY, N.; BORDAT, D.; BESSIÈRE, J. M. Identification of 2,3,4-tri-O-acyl)-a-D-glucopyranosil-(3-O acyl)-b-D-fructofuranoside), responsible for high level of leafminer resistance in *Lycopersicon cheesmanii*. **Report of the Tomato Genetics Cooperative**, New York, v. 42, p. 22, 1992.

KARSBURG, I. V.; CARVALHO, C. R.; CLARINDO, W. R. Identification of chromosomal deficiency by flow cytometry and cytogenetics in mutant tomato (*Solanum lycopersicum*, Solanaceae) plants. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 57, p. 444-449, 2009.

KELLING, C. R. S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**, 1995. 91 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

KINET, J. M.; PEET, M. M. Tomato. In: WIEN, H. C. **The physiology of vegetable crops**. Wallingford: CABI, 2002. chap. 6, p. 207-258.

KNAPP, S. et al. Solanaceae - a model for linking genomics with biodiversity. **Comparative and Functional Genomics**, Chichester, v. 5, p. 285-291, 2004.

KOUWENBERG, L. L. R.; KÜRSCHNER, W. M.; VISSCHER, H. Changes in stomatal frequency and size during elongation of *Tsuga heterophylla* Needles. **Annals of Botany**, Oxford, v. 94, p. 561-569, 2004.

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LIMA, A. N.; BATISTA, J. L.; COSTA, N. P. Efeito de variedades de tomateiro no controle da mosca-branca (*Bemisia tabaci* L.). **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 18, p. 92-97, 2005.

MACHADO, M. R. **Eficiência de novas fontes de resistência em tomateiro contra diferentes espécies de Begomovirus bipartidos e localização cromossômica do locus tcm-1**. 2013. 122 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MAKISHIMA, N. O popular tomate. In: PROGRAMA BRASILEIRO PARA MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Normas de classificação do tomate**. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura/CEAGESP, 2003. (Documentos, 26).

MALUF, W. R.; BARBOSA, L. V. Heridensidade de tricoma do tipo VI da superfície abaxiality of 2-tridecanone-mediated arthropod resistance in na interspecific segregating generation of tomato. **Brazilian Journal of Genetics**, Ribeirão Preto, v. 19, p. 465-468, 1996.

MALUF, W. R. et al. Broad-spectrum arthropod resistance in hybrids between high- and low-acylsugar tomato lines. **Crop Science**, Madison, v. 50, p. 439-450, 2010.

MARCHESE, A. **Resistência à mosca-branca e ao ácaro-rajado mediada por acilaçúcares e pelo gene *Mi* em tomateiro**. 2013. 63 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 342-346, 2006.

MEDRANO, H. et al. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, Oxford, v. 89, n. 1, p. 895-905, 2002.

MICHEREFF FILHO, M. et al. Resposta à mosca-branca (*Bemisia tabaci*) e ao *Tomato severe rugose virus* de acessos de *Solanum* subgênero *Leptostemonum*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, n. 30, p. 440-445, 2012.

MILLER, J. C.; TANKSLEY, S. D. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. **Theoretical and Applied Genetics**, Cham, v. 80, p. 437-448, 1990.

MORALES, R. G. F. et al. Caracterização do tomateiro submetido ao déficit hídrico. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 9-17, jan./fev. 2015.

MORALES, R. G. F. **Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivadas de *Solanum pennellii***. 2012. 93 p. (Tese de Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

NAVAS J.; FIALLO E.; SÁNCHEZ, S. Emerging virus diseases transmitted by whiteflies. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 49, n. 15, p. 219-248, 2011.

NEIVA, I. P. et al. Role of allelochemicals and trichome density in the resistance of tomato to whitefly. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 1, p. 61-67, Jan./Feb. 2013.

NOMBELA, G.; BEITIA, F.; MUÑIZ, M. 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**, Farnham Royal, v. 90, n. 2, p. 161-167, 2000.

NOMBELA, G.; WILLIAMSON, V. M.; MUNIZ, M. The root-knot nematode resistance gene *Mi-1.2* of tomato is responsible for resistance against the whitefly *Bemisia tabaci*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, São Paulo, v. 16, n. 7, p. 645-649, 2003.

NONAMI, H. T. et al. Blossom-end rot of tomato plants may not be directly caused by calcium deficiency. **Acta Horticulturae**, Leuven, v. 396, n. 1, p. 107-114, 1995.

OLIVEIRA, C. M. **Efeito do gene *Mi* e dos altos teores foliares de açúcares e de zingibereno na resistência do tomateiro a artrópodes-praga**. 2015. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

OLIVEIRA, C. M. et al. Resistance of tomato strains to the moth *Tuta absoluta* imparted by allelochemicals and trichome density. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 1, p. 45-52, Jan./Feb. 2012.

OZBAHCE, A.; TARI, A. F. Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate

conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 1405-1410, 2010.

PAMPLONA, A. M. S. R. **Avaliação de genótipos de tomate *Lycopersicum ssp.* com diferentes concentrações de açúcares, quanto a resistência a *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) (Hemitera: Aleyrodidae)**. 2001. 70 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PARRA TERRAZA, S. et al. Efecto del calcio y potencial osmótico de la solución nutritiva em la pudrición apical, composición mineral y rendimiento de tomate. **Interciencia**, Caracas, v. 33, n. 6, p. 449-456, 2008.

PERALTA, I. E.; KNAPP, S.; SPOONER, D. M. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: Solanaceae) from northern Peru. **Systematic Botany**, Kent, v. 30, p. 424-434, 2005.

PERALTA, I. E.; KNAPP, S.; SPOONER, D. M. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. **Report of the Tomato Genetics Cooperative**, New York, v. 56, p. 5-12, 2006.

PEREIRA, G. V. N. et al. Seleção para alto teor de açúcares em genótipos de tomateiro e sua relação com a resistência ao ácaro vermelho (*Tetranychus evansi*) e a traça (*Tuta absoluta*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 996-1004, 2008.

PETERSON, D. G. et al. DNA content of heterochromatin and euchromatin in tomato (*Lycopersicon esculentum*) pachytene chromosomes. **Genome**, Ottawa, v. 39, p. 77-82, 1996.

PICANÇO, M. C. et al. Impactos financeiros da adoção de manejo integrado de pragas na cultura do tomateiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 245-252, 2004.

PICANÇO, M. et al. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays and plant spacing. **Crop Protection**, Guildford, v. 17, p. 447-452, 1998.

PICKEN, A. J. F. A review of pollination and fruit set in the tomato. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 59, p. 1-13, 1984.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: EDUR, 1998. 150 p.

PIZZAMIGLIO, M. A. Ecologia das interações inseto/planta. In: PANNIZI, A. R.; PARRA, J. R. P. (Ed.). **Ecologia nutricional de insetos e suas implicações no manejo de pragas**. São Paulo: Manole, 1991. p. 101-123.

PRAÇA, M. M.; CARVALHO, R. C.; CLARINDO, W. R. A practical and reliable procedure for in vitro induction of tetraploid tomato. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, p. 501-505, 2009.

RESENDE, J. T. V. et al. Método colorimétrico para quantificação de acil açúcar em genótipos de tomateiro. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 6, p. 1204-1208, 2002.

RIBEIRO, S. G. et al. Molecular and biological characterization of *Tomato chlorotic mottle virus* suggests that recombination underlies the evolution and diversity of Brazilian tomato begomoviruses. **Phytopathology**, Saint Paul, v. 97, p. 702-711, 2007.

RIBEIRO, S. G. et al. Tomato infection by a geminivirus in the Federal District, Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 330, 1994.

ROSSI, M. et al. The nematode resistance gene *Mi* of tomato confers resistance against the potato aphid. **Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A**, Washington, v. 95, n. 17, p. 9750-9754, 1998.

ROUSSEAU, M. et al. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 111, n. 7, p. 1396-1408, 2005.

ROYER, D. L. Stomatal density and stomatal index as indicators of paleoatmospheric CO₂ concentration. **Review of Palaeobotany and Palynology**, Amsterdam, v. 114, n. 2, p. 1-28, 2001.

SANTANA, F. M. et al. Sources of resistance in *Lycopersicon* spp. to a bipartite whitefly-transmitted geminivirus from Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 122, p. 45-51, 2001.

SANTANA, M. J. et al. Resposta do tomateiro irrigado a níveis de reposição de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 443-454, 2010.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

- SAURE, M. C. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a calcium- or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 90, n. 4, p. 193-208, 2001.
- SEGUÌ- SIMARRO, J. M. et al. Androgenesis in recalcitrante solanaceous crops. **Plant Cell Reports**, Berlin, v. 30, p. 765-778, 2011.
- SILVA, A. A. et al. Resistência a *Myzus persicae* em genótipos de tomateiro com altos teores foliares de aleloquímicos. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 173-179, 2013.
- SILVA, A. C. T. F.; LEITE, I. C.; BRAZ, L. T. Avaliação da viabilidade do pólen como possível indicador de tolerância a altas temperaturas em genótipos de tomateiro. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 12, p. 136-165, 2000.
- SILVA, V. F. et al. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1262-1269, 2009.
- SIMMONS, A. T.; MCGRATH, D.; GURR, G. M. Trichome characteristics of F₁ *Lycopersicon esculentum* x *L. cheesmanii* f. minor and *L. esculentum* x *L. pennellii* hybrids and effects on *Myzus persicae*. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 3, p. 313-320, 2005.
- SMITH, O. **Pollination and life-history studies of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.)**. Cornell: Agricultural Experiment Station, 1935. p. 3-16.
- SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 98, p. 91-97, 2006.
- SOARES, L. A. A. et al. Respostas fisiológicas tomateiro na fase de floração sob estresse hídrico. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 51-55, 2012.
- SOUZA-DIAS, J. A. C.; SAWAZAKI, H. E. Herança hereditária. **Revista Cultivar**, Pelotas, v. 26, p. 19-22, 2004.
- SOUZA, J. O. **Análise da diversidade de begomovírus em tomateiros (*Solanum lycopersicum*) da região Nordeste do Brasil**. 2014. 101 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SPOONER, D. M.; ANDERSON, J.; JANSEN, R. K. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos

(Solanaceae). **American Journal of Botany**, Lancaster, v. 80, p. 676-688, 1993.

SRINIVASA RAO, N. K.; BHATT, R. M.; SADASHIVA, A. T. Tolerance to Water Stress in Tomato Cultivars. **Photosynthetica**, Prague, v. 38, p. 465-467, 2001.

SUN, H. J. et al. A highly efficient transformation protocol for Micro-Tom, a model cultivar for tomato functional genomics. **Plant Cell Physiology**, Oxford, v. 47, n. 1, p. 426-431, 2006.

SUZUKI, K.; SHONO, M.; EGAWA, Y. Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. **Protoplasma**, Vienna, v. 222, n. 4, p. 149-156, 2003.

TABATABAIE, S. J.; GREGORY, P. J.; HADLEY, P. Uneven distribution of nutrients in the root zone affects the incidence of blossom end rot and concentration of calcium and potassium in fruits of tomato. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 258, n. 2, p. 169-178, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAVARES, C. A. M. Perspectivas econômicas da tomaticultura frente aos problemas causados pelo geminivírus. **Biológico**, São Paulo, v. 64, n. 2, p. 157-158, 2002.

TAYLOR, I. B. Biosystematics of the tomato. In: ATHERTON, J. G.; RUDICH, J. (Ed.) **The tomato crop**. New York: Chapman and Hall, 1986. cap. 1, p. 1-34.

TOSCANO L. C.; BOIÇA JÚNIOR A. L.; MARUYAMA, W. I. Assessment of physiological aspects of three tomato genotypes infested by *Bemisia tabaci* Gennadius biotype B (Hemiptera: Aleyrodidae). **Neotropical Entomology**, Londrina, v. 33, p. 777-782, 2004.

WEESE, T.L.; BOHS, L. A three gene phylogeny of the genus *Solanum* (Solanaceae). **Systematic Botany**, Kent, v. 32, p. 445-463, 2007.

WESTON, P. A. et al. Trichome secretion composition, trichome densities, and spider mite resistance of ten accessions of *Lycopersicon hirsutum*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 114, n. 3, p. 492-498, 1989.

WESTON, P. A.; SNYDER, J. C. Thumbtack bioassay: a quick method of measuring plant resistance to two spotted spider mites (Acari:

Tetranychidae). **Journal of Economic Entomology**, College Park, v. 83, n. 2, p. 501-504, 1990.

WILLIAMS, W. G. et al. 2-tridecanone a naturally occurring insecticide from the wild tomato *Lycopersicon hirsutum* f. *glabratum*. **Science**, Washington, v. 207, p. 888-889, 1980.

ZAKAY, Y. et al. Screening of *Lycopersicon* accessions for resistance to Tomato yellow leaf curl virus: presence of viral DNA and symptom development. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 75, p. 279-281, 1991.

ZERBINI, F. M. et al. Um novo geminivirus isolado de tomateiro (*L. esculentum*) em Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 430, 1996.

ZSÖGÖN, A. **Identification and characterization of a tomato introgression line with reduced wilting under drought**. 2012. 188 p. Thesis (Doctorat in Agronomy) - University of Canberra, Canberra, 2012.

ZWIENIECKI, M. A. et al. A potential role for xylem–phloem interactions in the hydraulic architecture of trees: effects of phloem girdling on xylem hydraulic conductance. **Tree Physiology**, Oxford, v. 24, p. 911-917, 2004.

CAPÍTULO II

Resistência de genótipos de tomateiro a geminivírus

RESUMO

O objetivo do trabalho foi identificar e comparar genótipos de tomateiro com níveis de resistência ao geminivírus (ToYVSV). Os 48 genótipos de tomateiro, depois de infectados pelo vírus via mosca-branca (*B. argentifolii*), foram avaliados utilizando-se uma escala de notas que varia de 1 a 5, em que 1= sem sintoma (planta altamente resistente) e 5=sintomas severos (planta altamente suscetível). Os genótipos relatados como possuindo algum grau de resistência à mosca-branca, como os portadores de acilaçúcares (AA) e zingibereno (ZGB), ou do gene *Mi* (que controla resistência a nematoides), garantiram, em média, um aumento na resistência a geminivírus. O gene *Mi* associado ao gene *Ty-1*, em homozigose, presentes ambas nas linhagens TOM-713, TOM-714, TOM-715, TOM-716 e TOM-717, apresentaram resistência a geminivírus e foram mais efetivos do que os genótipos portadores dos mesmos genes atuando isoladamente. Os híbridos, portadores dos genes *Mi* e *Ty-1*, em heterozigose, foram menos resistentes do que as linhagens homozigotas (*Ty-1/Ty-1 Mi/Mi*), porém mais resistentes do que os genótipos suscetíveis (*Ty-1⁺/Ty-1⁺* e *Mi⁺/Mi⁺*). Com exceção apenas da linhagem BPX-414E-83-01-14-05-04, que apresentou resistência intermediária, as linhagens derivadas do híbrido Dominador F1, assim como os genótipos comerciais (Carina F1, Ivety F1 e Dominador F1) e o genótipo TOM-781, apresentaram também resistência a geminivírus, mas informações sobre sua constituição genotípica relativa aos genes que conferem resistência não está disponível. De maneira geral, a presença dos aleloquímicos testados e/ou do gene *Mi* em genótipos de tomateiro reduzem os sintomas de geminivírus em razão da diminuição da infestação do inseto-vetor.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, begomovírus, aleloquímicos, Mosca-branca.

ABSTRACT

The objective was to identify and compare tomato genotypes with geminivirus resistance levels (ToYVSV). 48 tomato genotypes, were infected with viruses using whiteflies as vectors (*Bemisia argentifolii*) and were evaluated using a rating scale ranging from 1 to 5, where 1 = no symptoms (highly resistant plant) and 5 = severe symptoms (highly susceptible plant). The genotypes that contain some level of whitefly resistance, as carrying acylsugar (AA) and zingiberene (ZGB) or the *Mi* gene (which controls resistance to nematodes), secured, on average, an increase in resistance to geminivirus. The *Mi* gene associated with the Ty-1 gene, in homozygous, present both in the TOM-713, TOM 714, TOM-715, TOM-716 and TOM-717 lines, showed resistance to geminivirus and were more effective than those with genotypes the same genes acting alone. Hybrids, carrying the *Mi* gene and Ty-1, in heterozygous, were less resistant than inbreeding (*Ty-1/Ty-1 Mi/Mi*), but more resistant than susceptible genotypes (*Ty-1⁺/Ty-1⁺ e Mi⁺/Mi⁺*). With the exception only of BPX-414E-83-01-14-05-04 that showed intermediate resistance, the lines derived of hybrid Dominator F₁, as well as commercial genotypes (Carina F₁, Ivety F₁ and Ruler F₁) and genotype TOM-781 also showed resistance to geminivirus, but information on their genotypic constitution concerning genes conferring resistance is not available. In general, the presence of allelochemicals and/or the *Mi* gene in tomato genotypes reduces the symptoms of geminivirus due to the lower vector infestation.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, begomovirus, allelochemicals, whitefly

1 INTRODUÇÃO

O tomateiro, *Solanum lycopersicum* (= *Lycopersicon esculentum* Mill.), é uma hortaliça cultivada em, praticamente, todas as regiões do Brasil e apreciada no mundo todo. Apresenta grande importância econômica, sendo a espécie olerícola com maior volume comercializado, na média dos últimos cinco anos, na CEAGESP. Os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais foram os maiores produtores no ano de 2014 (AGRIANUAL, 2015).

No Brasil e em alguns outros países produtores, é possível cultivar tomate, em várias épocas ao longo do ano, porém seu cultivo sucessivo propicia condições favoráveis ao surgimento de doenças causadas por fungos, bactérias e, principalmente, por vírus (MATOS et al., 2003). Dentre as principais viroses que afetam a cultura, destacam-se as causadas por Geminivírus, transmitidas por moscas-brancas do complexo *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) biótipo B (ou *B. argentifolii*), que podem ser consideradas como fator limitante à produção comercial do tomate (BROWN; FROHLICH; ROSELL, 1995).

Atualmente 17 espécies de vírus pertencentes ao gênero *Begomovirus* foram relatadas a infectar a cultura do tomateiro no Brasil e, de acordo com Faria et al. (1997), Ribeiro et al. (1994) e Zerbini et al. (1996), a espécie *Tomato yellow vein streak virus* (ToYVSV), de genoma bipartido, é a que predomina nas lavouras brasileiras de tomate.

A disseminação do vírus é, em geral, controlada por meio do manejo químico da mosca-branca, entretanto esse procedimento é prejudicado pela possível seleção de insetos com biótipos resistentes, pela intoxicação do aplicador, bem como pela redução da população de inimigos naturais (OLIVEIRA, 2015) e pela doença ser diagnosticada, em estádios avançados, na maioria das vezes (SILVA et al., 2000).

Como os métodos de controle químico para o vetor dessa doença nem sempre apresentam resultados satisfatórios, o caminho mais viável para reduzir os efeitos da queda de produtividade ocasionada por viroses é o uso

de genótipos de tomateiro resistentes ao vírus e, presumivelmente, aos seus vetores.

A presença de aleloquímicos, como zingibereno (ZGB) e acilaçúcares (AA), ou do gene *Mi* (que confere resistência a nematoides) em tomateiros, pode influenciar na resistência a geminivírus, por conferir algum grau de resistência ao inseto-vetor do vírus, a mosca-branca (MARCHESI, 2013; OLIVEIRA, 2015).

A presente pesquisa teve por objetivo identificar e comparar genótipos de tomateiro com níveis de resistência a geminivírus e, também, ao seu vetor, visando oferecer uma opção de controle mais estável e menos agressiva ao meio ambiente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na empresa HortiAgro Sementes S.A., Fazenda Palmital, município de Ijaci - MG (21°14'16" de latitude sul e 45°08'00" de longitude, com altitude média de 918 m) e no Setor de Olericultura, da Universidade Federal de Lavras - UFLA, no município de Lavras - MG (21° 14' 43" de latitude sul, 45° 59' 59" de longitude oeste, altitude de 919 m).

Foram avaliados 48 genótipos de tomateiro, com sua respectiva constituição genotípica em relação à fonte de resistência a geminivírus, e em relação à presença do gene *Mi* ou dos aleloquímicos acilaçúcar e zingibereno (Tabela 1). A cultivar Santa Clara foi utilizada como testemunha suscetível (padrão de suscetibilidade a geminivírus e à mosca-branca), e o híbrido Dominador F1 foi utilizado como testemunha resistente, por ser considerado o genótipo com um dos maiores níveis de resistência a geminivírus entre os híbridos comerciais mais plantados no Brasil.

Para a infestação com *Bemisia argentifolii*, foi previamente estabelecida uma criação de mosca-branca, no Setor de Olericultura da UFLA, em estufa telada, modelo capela, com cobertura de plástico

transparente de 100 micras de espessura e laterais de telas antiafídicas. Adultos de *B. argentifolii* foram coletados no setor de Fitopatologia, a partir de plantas da cv. Santa Clara (suscetível a geminivírus e à mosca-branca), infectadas pelo ToYVSV (*Tomato yellow vein streak vírus*), as quais foram utilizadas como fonte de inóculo do patógeno.

Os tratamentos foram semeados na Estação Experimental da HortiAgro Sementes S.A., em bandejas de isopor de 72 células, previamente preenchidas com substrato comercial Carolina Padrão®. Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com quatro repetições, e seis plantas por parcela, num total de 1.152 plantas. Somente a partir do 16º dia após a semeadura, as mudas foram levadas para casa de vegetação no Setor de Olericultura da UFLA, para a infestação direta de mosca-branca *B. argentifolii*, criadas sobre plantas da cv. Santa Clara infectadas com ToYVSY, para a inoculação de geminivírus. Os tratamentos ali permaneceram até o fim das avaliações.

A partir do 13º dia após a exposição inicial dos genótipos de tomateiro às moscas brancas, as testemunhas suscetíveis começaram a manifestar sintomas da doença, iniciando-se as avaliações do experimento. As avaliações foram realizadas aos 13, 22 e 31 dias após a exposição inicial das mudas às moscas-brancas virulíferas, por meio de uma escala de notas de 1 a 5, adaptada de Lourenção et al. (2004), em que: nota 1 = ausência de sintomas; nota 2 = maioria das folhas com sintomas brandos como leve mosaico e leve rugosidade; nota 3 = algumas folhas com rugose nítida; sintomas variando de clorose em até 50% da área foliar a leves deformações nas folhas; nota 4 = maioria das folhas com rugosidade severa, clorose acima de 50% da área foliar, folhas deformadas; nota 5 = folhas com rugosidade severa, enrolamento das folhas, encarquilhamento, clorose e deformações severas.

As médias das notas de sintomas obtidos na última avaliação e as Áreas Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD) medidas entre o 13º e o 31º dia após a infestação foram submetidas à análise de variância,

seguida da comparação das médias com a testemunha suscetível (Santa Clara) e com a testemunha resistente (Dominador F₁), pelo teste de Dunnett, a 5% de probabilidade. Foram obtidas ainda estimativas de contrastes selecionados entre grupos de genótipos com diferentes teores de aleloquímicos, com presença ou não do gene *Mi*, e/ou com diferentes genes de resistência a geminivírus, a fim de caracterizar possíveis diferenças nos níveis de resistência observados. Todas as análises estatísticas foram realizadas por meio do software SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE, 1989).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação às médias das notas da última avaliação e a Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), comparadas com a testemunha suscetível (Santa Clara) pelo teste de Dunnett unilateral (5%) e a testemunha resistente (Dominador F₁) pelo teste de Dunnett bilateral (5%) (Tabela 1), houve diferenças significativas entre a cultivar Santa Clara e o híbrido Dominador F₁, confirmando-lhes o caráter padrão de suscetibilidade e resistência dos genótipos a geminivírus, respectivamente.

Os genótipos portadores dos genes de resistência *Mi* e/ou *Ty-1* ou *Ty-2* ou *Ty-3+Ty-4* (Ibiza F₁, Paraty F₁, NC-123S, TOM-698, TOM-713, TOM-714, TOM-715, TOM-716, TOM-717, TOM-707, TOM-708, TOM-749), juntamente com os genótipos TEX-409, TEX-410 (*Mi/Mi*⁺, *Ty-1/Ty-1*⁺, heterozigoto AA) garantiram maior nível de resistência a geminivírus do que o genótipo suscetível (Santa Clara) (Tabela 1).

O genótipo TOM-781, cuja reação a geminivírus era desconhecida e que era caracterizado previamente como suscetível a nematoides, foi relatado como resistente no presente trabalho, diferindo estatisticamente da cultivar suscetível Santa Clara (Tabela 1 e Contraste 33, Tabela 2), esse resultado sugere que este genótipo possui alguma fonte de resistência que não foi informada.

O genótipo comercial Tyna F₁ não diferiu das testemunhas Santa Clara e TOM-584 em relação às notas de sintomas de geminivírus e à AACPD (Contraste 5, Tabela 2), apresentando maiores sintomas de geminivírus quando comparados com a testemunha resistente Dominador F₁ (Contraste 11, Tabela 2). Já os genótipos Carina F₁, Ivety F₁, Dominador F₁, Ibiza F₁ e Paraty F₁ apresentarem menores notas para os dois caracteres avaliados do que a testemunha suscetível Santa Clara e o TOM-584 (Contrastes 3, 4, 6, 7 e 8, Tabela 2), não diferindo da testemunha resistente Dominador F₁ (Contrastes 9, 10, 12 e 13, Tabela 2).

Com relação à presença do gene *Mi/Mi* (que confere resistência a nematoides), os genótipos NC-123S e TOM-684 diferiram significativamente entre si, sendo que apenas o genótipo NC-123S apresentou significativamente menos sintomas do que a testemunha Santa Clara (Tabela 1 e Contrastes 14, 15 e 16, Tabela 2).

As linhagens portadoras do gene *Ty-2* (TOM-708) e dos genes *Ty-3+Ty-4* (TOM-749), em homozigose, foram mais eficientes em garantir resistência a geminivírus entre todas as fontes estudadas (Tabela 1). Essas linhagens homozigotas para os genes *Ty-2* e *Ty-3+Ty-4* conferiram maior nível de resistência ao geminivírus do que as linhagens que continham o gene *Ty-1* em homozigose, tanto as portadoras do gene *MiMi* como as suscetíveis a nematoides *Mi⁺Mi⁺* (Contraste 23, 24, 25 e 26, Tabela 4). Entretanto as linhagens que continham o gene *Ty-1* mais o gene *Mi* em homozigose foram superiores em resistência à testemunha resistente Dominador F₁ (Contraste 20, Tabela 4), enquanto os genótipos homozigotos para o gene *Ty-1* suscetíveis a nematoides não diferiram de Dominador F₁ (Contraste 18, Tabela 2).

Esses resultados demonstram que a associação dos alelos *Mi* e *Ty-1* em homozigose contribui para o aumento do nível de resistência a geminivírus. Tanto as linhagens homozigotas *Ty-1 MiMi* (TOM-713, TOM-714, TOM-715, TOM-716, TOM-717) como as homozigotas *Ty-1 Mi⁺/Mi⁺* (TOM-691, TOM-695, TOM-698, TOM-699) foram superiores em

resistência à cultivar Santa Clara e à linhagem TOM-584 (Contrastes 17 e 19, Tabela 2). O alelo *Ty-1* em heterozigose se mostrou mais efetivo na resistência a geminivírus quando associado ao alelo *Mi* em homozigose, como no caso do genótipo Paraty F₁, do que quando associado ao alelo *Mi* em heterozigose, como em Ibiza F₁ (Tabela 1).

As linhagens com altos teores de acilaçúcares (AA) e ao mesmo tempo portadoras do gene *Mi* em homozigose, apesar de não serem portadoras de nenhum dos alelos *Ty-1*, *Ty-2* ou *Ty-3+Ty-4*, foram tão eficientes em conferir resistência ao geminivírus quanto à testemunha resistente Dominador F₁ e as linhagens homozigotas para o gene *Ty-1* (Contrastes 28 e 29, Tabela 2), sendo superiores às testemunhas Santa Clara e TOM-584 (Contraste 27, Tabela 2). O emprego conjunto de AA com resistência a nematoide em homozigose proporcionou maior resistência que a linhagem TOM-684, resistente apenas a nematoides, o que reflete o efeito de altos teores de AA isoladamente (Contraste 30, Tabela 2).

Os tratamentos com altos teores simultaneamente de acilaçúcares e zingibereno (TOM-779 e TOM-780), mas sem o gene *Mi*, não diferiram da testemunha Santa Clara e da linhagem TOM-584, foram menos efetivos em conferir resistência do que a testemunha resistente Dominador F₁ (Contraste 31 e 32, Tabela 2). O genótipo TOM-779, não diferiu significativamente de Santa Clara, nem de Dominador F₁ (Tabela 1), indicando assim, uma resistência intermediária entre as duas testemunhas. Isto indica que a presença dos aleloquímicos acilaçúcar e zingibereno, simultaneamente, embora nem sempre seja efetiva em assegurar menores sintomas (como acontece em TOM-780), pode, no entanto fazê-lo moderadamente em alguns casos (TOM-779) (Tabela 1).

O genótipo heterozigoto TEX-249 (*Mi/Mi*⁺ *Ty-1/Ty-1*⁺), também apresentou níveis de resistência semelhantes à testemunha Dominador F₁ (Contraste 36, Tabela 2). Em média, os híbridos TEX-407, TEX-408, TEX-409, TEX-410 e TEX-411 (AA (heterozigotos), *Mi* (heterozigotos), *Ty-1* (heterozigotos)) foram mais eficientes em conferir resistência do que as

testemunhas suscetíveis Santa Clara e TOM-584, sendo tão resistentes quando Dominador F₁ (Contrastes 38 e 39, Tabela 2).

Analisando o efeito isoladamente do gene *Mi* em homozigose em contraste ao gene *Mi* em heterozigose em híbridos AA (heterozigotos) *Ty-1* (heterozigotos), verificou-se que não houve diferenças significativas tanto nos sintomas quanto na AACPD (Contraste 40, Tabela 2). Também não foram observadas diferenças significativas ao se comparar o efeito isoladamente de genótipos em heterozigose para altos teores de AA em relação a genótipos que apresentaram os genes *Mi* e *Ty-1* em heterozigose, embora numericamente tenha ocorrido uma diminuição nos sintomas (Contraste 41, Tabela 2), em função da presença de acilaçúcares. A resistência a geminivírus mediada pelos genes *Mi* e *Ty-1*, em homozigose foi mais efetiva do que em híbridos (*Ty-1/Ty-1*⁺ e *Mi/Mi*⁺) (Tabela 1).

As linhagens derivadas de Dominador F₁ (BPX-414C-103-01-07, BPX-414C-103-01-08, BPX-414C-46-01-01, BPX-414E-116-01-23-01-02, BPX-414E-116-01-23-01-03, BPX-414E-116-01-23-01-04, BPX-414E-116-01-23-02-03, BPX-414E-116-01-23-04-03, BPX-414E-116-01-23-05-05, BPX-414E-116-02-15-03-02, BPX-414E-116-02-15-03-04, BPX-414E-116-02-15-03-05, BPX-414E-83-01-14-02-05 e BPX-414E-83-01-14-05-04) foram superiores em resistência à cultivar Santa Clara e à linhagem TOM-584, e não se diferenciaram significativamente de Dominador F₁, tanto nos sintomas quanto na AACPD, apresentando bons resultados de resistência (Contrastes 42 e 43, Tabela 2).

Os resultados indicam, de maneira geral, que há uma tendência de que os genótipos com resistência ao inseto vetor do vírus (mosca-branca) (*Mi/Mi*, *Mi* e AA, AA e ZGB) contribuam, em média, na diminuição dos sintomas de geminivírus em tomateiro. De acordo com Marchese, (2013), genótipos de tomateiro com altos teores de acilaçúcares e/ou portadores do gene *Mi* conferem resistência moderada à mosca-branca. Os resultados obtidos neste trabalho mostram também que os genótipos homozigotos para o gene *Mi* associados a altos teores de AA podem ser tão eficientes em

conferir resistência a geminivírus quanto os híbridos com maior número de genes de resistência (*Mi/Mi⁺*, *Ty-1/Ty-1⁺* e heterozigotos AA).

Marchese (2013) verificou que os locos gênicos que conferem resistência a geminivírus em tomateiro (*Ty-1*) não influenciam no grau de tolerância à mosca-branca mediada pelos aleloquímicos Acilaçúcares (AA) e Zingibereno (ZGB) e, ou pelo gene *Mi*. Entretanto a introgressão dos alelos de resistência à mosca-branca em tomateiros, contribui para o aumento na resistência a geminivírus, por conferir algum grau de resistência ao inseto-vetor do vírus (mosca-branca). Segundo Neiva (2016), as linhagens com alto teor de acilaçúcar juntamente com o gene *Mi* apresentaram uma redução de até 46,42% do número de ninfas por folíolos, em relação à cultivar Santa Clara, e para os genótipos que continham apenas alto teor de Zingibereno houve uma redução de até 43,24% do número de ninfas por folíolos, também em relação à cultivar Santa Clara.

A relação entre geminivírus e *B. tabaci* é do tipo persistente-circulativo, ou seja, após adulto de mosca-branca adquirir o vírus ao alimentar-se em uma planta infectada por um período denominado de período de aquisição, a mosca-branca estará apta a transmitir o geminivírus por um período de dez a vinte dias (LASTRA, 1993), o que não implicaria necessariamente em uma menor incidência dos sintomas de geminivírus, mesmo com uma maior resistência dos genótipos ao inseto vetor. Contudo os resultados aqui obtidos demonstram que uma maior resistência ao inseto-vetor também é efetiva na redução dos sintomas de vírus.

Dueñas et al. (2008) observaram que, sob condições de infecção não controlada, na presença do isolado cubano TYLCV-IL [CU], os acessos que continham o gene *Ty-2* apresentaram comportamento de resistência, com ausência dos sintomas característicos do vírus e sem replicação viral. Machado (2013) analisando os sintomas de quatro espécies do complexo de begomovírus bipartidos do Brasil (ToSRV, ToRMV, ToYVSV e ToCMoV) inoculadas via bombardeamento de micro partículas, verificou que, dentre cinco genótipos com fatores de resistência aparentemente distintos de *Ty-1* e

Ty-3, apenas o acesso 'LAI 132' se mostrou suscetível ao ToYVSV, já o acesso 'H-24' (fonte do locus *Ty*-2) se mostrou suscetível apenas ao ToSRV e ToRMV.

Apesar de que no mercado brasileiro as principais variedades disponíveis serem portadoras do gene *Ty*-1 (SANTANA et al., 2001), os resultados obtidos com as linhagens *Ty*-2 e *Ty*-3+*Ty*-4 mostram a importância de se incorporar novas fontes de resistência nas variedades e nos híbridos. É provável que as cultivares com níveis ainda mais elevados de resistência irá tornar disponíveis no futuro. Também é importante ressaltar que diferentes genes de resistência a begomovírus não conferem um nível semelhante de resistência a todos os begomovírus, portanto, é fundamental avaliar a resposta às begomovírus predominantes numa dada região (INOUE-NAGATA; LIMA; GILBERTSON, 2016).

Os resultados obtidos nessa pesquisa reforçam inferências de outros autores (NEIVA, 2016; FREITAS et al., 2002; AZEVEDO et al., 2003; MACIEL et al., 2009; SILVA, 2009; MARCHESE, 2013; OLIVEIRA, 2015) de que o uso de aleloquímicos confere resistência a pragas e, conseqüentemente pode conferir resistência a doenças transmitidas por esse vetores.

4 CONCLUSÕES

- A homozigose para os alelos *Ty-1* e *Mi* é mais efetiva como estratégia de resistência ao ToYVSV do que o emprego destes alelos em heterozigose.
- A presença do gene *Mi*, especialmente em homozigose, contribui para um incremento no nível de resistência ao geminivírus conferido por *Ty-1*.
- Genótipos com teores mais elevados dos aleloquímicos acilaçúcar e/ou zingibereno, também, podem contribuir para um incremento no nível de resistência ao geminivírus conferido por *Ty-1*.
- A presença de aleloquímicos e/ou do gene *Mi* em genótipos de tomateiro reduzem os sintomas de geminivírus em razão da diminuição da infestação do inseto-vetor.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP – Inovação e Pesquisa), ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), à Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), à Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC) e à HortiAgro Sementes, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP consultoria, 2015. 521 p.
- AZEVEDO, S. M. et al. Zingiberene-mediated resistance to the South American tomato pinworm derived from *Lycopersicon hirsutum* var. *hirsutum*. **Euphytica**, Wageningen, v. 134, p. 347-351, 2003.
- BROWN, J. K.; FROHLICH, D. R.; ROSELL, R. C. The sweetpotato or silver leaf whiteflies: biotypes of *Bemisia tabaci* or a species complex? **Annual Review of Entomology**, Stanford, v. 40, p. 511-534, 1995.
- DUEÑAS, F. et al. Caracterización agromorfológica y evaluación de la resistencia al TYLCV en nuevos genotipos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) como apoyo al programa de mejoramiento genético de la hortaliza para la enfermedad. **Cultivos Tropicales**, La Habana, v. 29, p. 53-60, 2008.
- FARIA, J. C. et al. A new geminivirus associated with tomato in the State of São Paulo, Brazil. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 81, p. 423, 1997.
- FREITAS, J. A. et al. Relações entre acilaçúcares, tricoma glandular e resistência do tomateiro à mosca branca. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1313-1316, 2002.
- INOUE-NAGATA, A. K.; LIMA, M. F.; GILBERTSON, R. L. A review of geminivirus (begomovirus) diseases in vegetables and other crops in Brazil: current status and approaches for management. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 8-18, 2016.
- LASTRA, R. **Los geminivirus en grupo de fitovirus con características especiales en las moscas blancas (Homoptera: Aleyrodidae)**. Turrialba: Catie, 1993. p. 66. (Série Técnica, 205).
- LOURENÇÃO, A. L. et al. Avaliação da resistência de acessos de tomateiro a tospovírus e a geminivírus. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 193-196, 2004.
- MACHADO, M. R. **Eficiência de novas fontes de resistência em tomateiro contra diferentes espécies de *Begomovirus* bipartidos e localização cromossômica do locus *tcm-1***. 2013. 122 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

MACIEL, G. M.; NÍZIO, D. A. C.; SILVA, V. A. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1262-1269, set. 2009.

MARCHESE, A. **Resistência à mosca-branca e ao ácaro-rajado mediada por acilaçúcares e pelo gene *Mi* em tomateiro**. 2013. 63 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MATOS, E. S. et al. Resistência de genótipos de tomateiro a um isolado de geminivírus do cinturão verde de Campinas, São Paulo. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, p. 159-165, 2003.

NEIVA, I. P. **Resistência à mosca-branca em tomateiro, mediada por aleloquímicos, por tricomas glandulares e pelo gene *Mi***. 2016. 79 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

OLIVEIRA, C. M. **Efeito do gene *Mi* e dos altos teores foliares de acilaçúcares e de zingibereno na resistência do tomateiro a artrópodes-praga**. 2015. 65 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

RIBEIRO, S. G. et al. Tomato infection by a geminivirus in the Federal District, Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 19, p. 330, 1994. (Resumo).

SANTANA, F. M. et al. Sources of resistance in *Lycopersicon* spp. to a bipartite whitefly-transmitted geminivírus from Brazil. **Euphytica**, Wageningen, v. 122, p. 45-51, 2001.

SILVA, J. B. et al. **Cultivo do tomate para industrialização**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2000. (Sistema de produção, 3). Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial/doencas_virus.htm>. Acesso em: 1 maio 2016.

SILVA, V. F. et al. Resistência mediada por aleloquímicos de genótipos de tomateiro à mosca-branca e ao ácaro-rajado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 9, p. 1262-1269, 2009.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/ STAT procedure guide for personal computers**: version 6. Cary, 1989. 846 p.

ZERBINI, F. M. et al. Um novo geminivírus isolado de tomateiro (*L. esculentum*) em Minas Gerais. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 21, p. 430, 1996.

Tabela 1 Resultado das médias das notas da última avaliação de resistência a geminivírus e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), comparadas com a testemunha suscetível (Santa Clara) e a testemunha resistente (Dominador F1).

Genótipos	Fonte de resistência	Nota média	Diferença entre médias					AACPD	Diferença entre AACPD				
			Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara		Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara
				< Dom.	> Dom.					< Dom.	> Dom.		
Santa Clara	S	3,96	1,13	ns	*	-	-	56,42	14,46	ns	*	-	-
TOM-584	S	4,28	1,45	ns	*	0,33	ns	57,00	15,04	ns	*	0,58	ns
Carina F1	N.D	3,03	0,20	ns	ns	-0,93	*	44,98	3,02	ns	ns	-11,44	*
Ivety-F1	N.D	2,67	-0,17	ns	ns	-1,30	*	41,83	-0,13	ns	ns	-14,58	*
Tyna F1	N.D	3,83	1,00	ns	*	-0,13	ns	54,04	12,08	ns	*	-2,38	ns
Dominador F1	N.D	2,83	-	-	-	-1,13	*	41,96	-	-	-	-14,46	*
Ibiza F1	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i>	3,00	0,17	ns	ns	-0,96	*	47,21	5,25	ns	ns	-9,21	ns
Paraty F1	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1⁺</i>	2,63	-0,21	ns	ns	-1,33	*	37,75	-4,21	ns	ns	-18,67	*
NC-123S	<i>Mi/Mi, Ty-1⁺/Ty-1⁺</i>	2,66	-0,18	ns	ns	-1,30	*	37,29	-4,67	ns	ns	-19,13	*
TOM-684	<i>Mi/Mi</i>	4,00	1,17	ns	*	0,04	ns	57,63	15,67	ns	*	1,21	ns
TOM-691	<i>Ty-1/Ty-1, Mi⁺/Mi⁺</i>	3,29	0,46	ns	ns	-0,67	ns	43,08	1,13	ns	ns	-13,33	*
TOM-695	<i>Ty-1/Ty-1, Mi⁺/Mi⁺</i>	3,48	0,65	ns	ns	-0,48	ns	47,00	5,05	ns	ns	-9,41	ns
TOM-698	<i>Ty-1/Ty-1, Mi⁺/Mi⁺</i>	2,98	0,15	ns	ns	-0,98	*	43,67	1,71	ns	ns	-12,75	*
TOM-699	<i>Ty-1/Ty-1, Mi⁺/Mi⁺</i>	3,13	0,29	ns	ns	-0,83	ns	43,88	1,92	ns	ns	-12,54	*
TOM-713	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1</i>	2,21	-0,63	ns	ns	-1,75	*	30,21	-11,75	ns	ns	-26,21	*
TOM-714	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1</i>	2,15	-0,69	ns	ns	-1,81	*	29,54	-12,42	*	ns	-26,88	*
TOM-715	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1</i>	2,35	-0,48	ns	ns	-1,61	*	35,29	-6,67	ns	ns	-21,13	*
TOM-716	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1</i>	2,18	-0,66	ns	ns	-1,78	*	30,88	-11,08	ns	ns	-25,53	*
TOM-717	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1</i>	2,63	-0,20	ns	ns	-1,33	*	32,73	-9,23	ns	ns	-23,69	*
TOM-707	<i>Ty-2/Ty-2, Mi⁺/Mi⁺</i>	2,33	-0,50	ns	ns	-1,63	*	33,63	-8,33	ns	ns	-22,79	*
TOM-708	<i>Ty-2/Ty-2, Mi⁺/Mi⁺</i>	1,42	-1,42	*	ns	-2,54	*	20,83	-21,13	*	ns	-35,58	*

Tabela 1, continuação.

Genótipos	Fonte de resistência	Nota Média	Diferença entre médias					AACPD	Diferença entre AACPD				
			Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara		Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara
				< Dom.	> Dom.					< Dom.	> Dom.		
TOM-749	<i>Ty-3/Ty-3</i> e <i>Ty-4/Ty-4, Mi⁺/Mi⁺</i>	1,17	-1,67	*	ns	-2,79	*	19,96	-22,00	*	ns	-36,46	*
TOM-759	<i>Mi/Mi, AA</i>	3,09	0,26	ns	ns	-0,87	ns	46,95	4,99	ns	ns	-9,47	ns
TOM-760	<i>Mi/Mi, AA</i>	3,41	0,58	ns	ns	-0,55	ns	50,05	8,09	ns	ns	-6,37	ns
TOM-779	AA e ZGB, <i>Mi⁺/Mi⁺</i>	3,38	0,54	ns	ns	-0,58	ns	47,04	5,08	ns	ns	-9,38	ns
TOM-780	AA e ZGB, <i>Mi⁺/Mi⁺</i>	4,38	1,54	ns	*	0,42	ns	58,71	16,75	ns	*	2,29	ns
TOM-781	<i>Mi⁺/Mi⁺</i>	2,31	-0,52	ns	ns	-1,65	*	32,23	-9,73	ns	ns	-24,19	*
TEX-249	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i>	3,38	0,54	ns	ns	-0,58	ns	46,67	4,71	ns	ns	-9,75	ns
TEX-407	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	3,17	0,33	ns	ns	-0,79	ns	47,37	5,41	ns	ns	-9,05	ns
TEX-408	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	3,13	0,29	ns	ns	-0,83	ns	48,38	6,42	ns	ns	-8,04	ns
TEX-409	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	3,00	0,17	ns	ns	-0,96	*	39,90	-2,06	ns	ns	-16,52	*
TEX-410	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	2,94	0,10	ns	ns	-1,02	*	45,32	3,36	ns	ns	-11,10	ns
TEX-411	<i>Mi/Mi⁺, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	3,18	0,35	ns	ns	-0,78	ns	45,00	3,04	ns	ns	-11,42	*
TEX-412	<i>Mi/Mi, Ty-1/Ty-1⁺</i> , heterozigoto AA	3,10	0,27	ns	ns	-0,85	ns	46,81	4,85	ns	ns	-9,60	ns

Tabela 1, conclusão.

Genótipos	Fonte de resistência	Nota média	Diferença entre médias					Diferença entre AACPD					
			Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara	AACPD	Genótipo Dominador F ₁	Dunnnett 5%		Genótipo Santa Clara	Dunnnett 5% <Santa Clara
				< Dom.	> Dom.					< Dom.	> Dom.		
BPX-414C-103-01-07	N.D	2,61	-0,22	ns	ns	-1,35	*	37,62	-4,34	ns	ns	-18,80	*
BPX-414C-103-01-08	N.D	2,83	0,00	ns	ns	-1,13	*	39,50	-2,46	ns	ns	-16,92	*
BPX-414C-46-01-01	N.D	3,09	0,26	ns	ns	-0,87	ns	42,93	0,97	ns	ns	-13,49	*
BPX-414E-116-01-23-01-02	N.D	2,96	0,13	ns	ns	-1,00	*	42,17	0,21	ns	ns	-14,25	*
BPX-414E-116-01-23-01-03	N.D	2,75	-0,08	ns	ns	-1,21	*	37,33	-4,63	ns	ns	-19,08	*
BPX-414E-116-01-23-01-04	N.D	2,67	-0,17	ns	ns	-1,29	*	36,04	-5,92	ns	ns	-20,38	*
BPX-414E-116-01-23-02-03	N.D	2,65	-0,19	ns	ns	-1,31	*	37,81	-4,15	ns	ns	-18,60	*
BPX-414E-116-01-23-04-03	N.D	2,96	0,13	ns	ns	-1,00	*	44,58	2,63	ns	ns	-11,83	*
BPX-414E-116-01-23-05-05	N.D	2,92	0,08	ns	ns	-1,04	*	41,40	-0,56	ns	ns	-15,02	*
BPX-414E-116-02-15-03-02	N.D	2,50	-0,33	ns	ns	-1,45	*	38,00	-3,96	ns	ns	-18,42	*
BPX-414E-116-02-15-03-04	N.D	2,79	-0,04	ns	ns	-1,17	*	41,33	-0,63	ns	ns	-15,09	*
BPX-414E-116-02-15-03-05	N.D	2,96	0,13	ns	ns	-1,00	*	44,79	2,83	ns	ns	-11,63	*
BPX-414E-83-01-14-02-05	N.D	3,13	0,29	ns	ns	-0,83	ns	40,63	-1,33	ns	ns	-15,79 *	*
BPX-414E-83-01-14-05-04	N.D	3,15	0,31	ns	ns	-0,81	ns	46,02	4,06	ns	ns	-10,40	ns

* Significativo pelo teste de Dunnnett, a 5% de probabilidade.

¹Mi⁺/Mi⁺: suscetível; Mi/Mi⁺: heterozigoto; Mi/Mi: homozigoto; Ty-1⁺/Ty-1⁺: suscetível; Ty-1/Ty-1⁺: heterozigoto; Ty-1/Ty-1: homozigoto; Ty-2/Ty-2: homozigoto; Ty-3/Ty-3: homozigoto; Ty-4/Ty-4: homozigoto; AA: altos teores de acilaçúcar; ZGB: altos teores de zingibereno; S: suscetível para todas as fontes de resistência; N.D: informação não disponível.

Tabela 2. Estimativas de contrastes de interesse usados da última avaliação para comparações de resistência a geminivírus e Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), entre genótipos e/ou grupos de genótipos com diferentes teores de açúcares (AA), zingibereno (ZGB), resistência a nematoide e em relação à fonte de resistência a geminivírus. UFLA, Lavras-MG, 2016.

	Contraste de estimados	Descrição do contraste	Resistência a geminivírus	AACPD
C1	(T1 - T2)	Santa Clara vs TOM-584 = Diferença entre testemunhas suscetíveis a nematoides e a begomovírus, e não AA, não ZGB	-0,325 ^{ns}	-0,583 ^{ns}
C2	[(T3+T4+T5+T6+T7+T8)/6 - (T1+T2)/2]	Testemunhas comerciais descritas como resistentes a begomovirus vs testemunhas suscetíveis	-1,122**	-12,081**
C3	[T3- (T1+T2)/2]	Carina F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,088**	-11,733**
C4	[T4- (T1+T2)/2]	Ivety-F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,454**	-14,875**
C5	[T5- (T1+T2)/2]	Tyna F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-0,288 ^{ns}	-2,667 ^{ns}
C6	[T6- (T1+T2)/2]	Dominador F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,288**	-14,750**
C7	[T7- (T1+T2)/2]	Ibiza F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,121**	-9,500**
C8	[T8- (T1+T2)/2]	Paraty F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,496**	-18,958**
C9	(T3-T6)	Carina F ₁ vs Testemunha resistente	+0,200 ^{ns}	+3,017 ^{ns}
C10	(T4-T6)	Ivety-F ₁ vs Testemunha resistente	-0,167 ^{ns}	-0,125 ^{ns}
C11	(T5-T6)	Tyna F ₁ vs Testemunha resistente	+1,000**	+12,083**
C12	(T7-T6)	Ibiza F ₁ vs Testemunha resistente	+0,167 ^{ns}	+5,250 ^{ns}
C13	(T8-T6)	Paraty F ₁ vs Testemunha resistente	-0,208 ^{ns}	-4,208 ^{ns}

Tabela 2, continuação.

	Contraste de estimados	Descrição do contraste	Resistência a geminivírus	AACPD
C14	$[T9 - (T1+T2)/2]$	Linhagem resistente a nematoides NC-123S (sem resistência begomovírus) vs Testemunhas suscetíveis	-1,463**	-19,417**
C15	$[T10 - (T1+T2)/2]$	Linhagem resistente a nematoides TOM-684 (sem resistência begomovírus) vs Testemunhas suscetíveis	-0,121 ^{ns}	+0,917 ^{ns}
C16	$(T9-T10)$	Linhagem resistente a nematoides NC-123S vs Linhagem resistente a nematoides TOM-684 (ambas sem resistência begomovírus)	-1,342**	-20,333**
C17	$[(T11+T12+T13+T14)/4 - (T1+T2)/2]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> (e suscetíveis a nematoides) vs Testemunhas suscetíveis	-0,901**	-12,301**
C18	$[(T11+T12+T13+T14)/4 - T6]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> (e suscetíveis a nematoides) vs Testemunha resistente	+0,386 ^{ns}	+2,449 ^{ns}
C19	$[(T15+T16+T17+T18+T19)/5 - (T1+T2)/2]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> e homozigotas <i>MiMi</i> vs Testemunhas suscetíveis	-1,818**	-24,978**
C20	$[(T15+T16+T17+T18+T19)/5 - T6]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> e homozigotas <i>MiMi</i> vs Testemunha resistente	-0,530*	-10,228**
C21	$[(T20+T21)/2 - (T1+T2)/2]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-2/Ty-2</i> (suscetíveis a nematoides) vs Testemunhas suscetíveis	-2,246**	-29,479**
C22	$[(T20+T21)/2 - T6]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-2/Ty-2</i> (suscetíveis a nematoides) vs Testemunha resistente Dominador F ₁	-0,958**	-14,729**
C23	$[(T20+T21)/2 - (T15+T16+T17+T18+T19)/5]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-2/Ty-2</i> (suscetíveis a nematoides) vs Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> e homozigotas <i>MiMi</i>	-0,428*	-4,501 ^{ns}
C24	$[(T20+T21)/2 - (T11+T12+T13+T14)/4]$	Linhagens homozigotas <i>Ty-2/Ty-2</i> (suscetíveis a nematoides) vs Linhagens homozigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> (suscetíveis a nematoides)	-1,345**	-17,178**

Tabela 2, continuação.

	Contraste de estimados	Descrição do contraste	Resistência a geminivírus	AACPD
C25	[T22 - (T15+T16+T17+T18+T19)/5]	Linhagem homocigota <i>Ty-3/Ty-3 Ty-4/Ty-4</i> (suscetíveis a nematoides) vs Linhagens homocigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> e homocigotas <i>MiMi</i>	-1,137**	-11,772**
C26	[T22 - (T11+T12+T13+T14)/4]	Linhagem homocigota <i>Ty-3/Ty-3 Ty-4/Ty-4</i> (suscetíveis a nematoides) vs Linhagens homocigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> (suscetíveis a nematoides)	-2,053**	-24,449**
C27	[(T23+T24)/2 - (T1+T2)/2]	Linhagens AA homocigotas, <i>Mi</i> homocigotas (suscetíveis a begomovírus) vs Testemunhas suscetíveis	-0,871**	-8,208**
C28	[(T23+T24)/2 - T6]	Linhagens AA homocigotas, <i>Mi</i> homocigotas (suscetíveis a begomovírus) vs Testemunha resistente Dominador F ₁	+0,417 ^{ns}	+6,542 ^{ns}
C29	[(T23+T24)/2 - (T11+T12+T13+T14)/4]	Linhagens AA homocigotas, <i>Mi</i> homocigotas (suscetíveis a begomovírus) vs Linhagens homocigotas <i>Ty-1/Ty-1</i> (suscetíveis a nematoides)	+0,030 ^{ns}	+4,093 ^{ns}
C30	[(T23+T24)/2 - T10]	Linhagens AA homocigotas, <i>Mi</i> homocigotas (suscetíveis a begomovírus) vs Linhagem TOM-684 (não-AA, homocigota <i>Mi</i> , suscetíveis a begomovírus) = reflete o efeito de altos teores de AA isoladamente	-0,750**	-9,125**
C31	[(T25+T26)/2 - (T1+T2)/2]	Linhagens AA homocigotas, ZGB homocigotas (suscetíveis a nematoides e begomovírus) vs Testemunhas suscetíveis = reflete o efeito dos altos teores de AA e ZGB	-0,246 ^{ns}	-3,833 ^{ns}
C32	[(T25+T26)/2 - T6]	Linhagens AA homocigotas, ZGB homocigotas (suscetíveis a nematoides e begomovírus) vs Testemunha resistente Dominador F ₁	+1,042**	+10,917**

Tabela 2, conclusão.

	Contraste de estimados	Descrição do contraste	Resistência a geminivírus	AACPD
C33	[T27 - (T1+T2)/2]	Linhagem TOM-781 vs Testemunhas suscetíveis	-1,808**	-24,479**
C34	(T27 - T6)	Linhagem TOM-781 vs Testemunha resistente Dominador F ₁	-0,521 ^{ns}	-9,729*
C35	[T28 - (T1+T2)/2]	Híbrido TEX-249 vs Testemunhas suscetíveis	-0,746**	-10,042**
C36	(T28 - T6)	Híbrido TEX-249 vs Testemunha resistente Dominador F ₁	+0,542 ^{ns}	+4,708 ^{ns}
C37	(T28 - T7)	Contraste entre 2 híbridos não AA, Mi heterozigotos, Ty-1 heterozigotos	+0,375 ^{ns}	-0,542 ^{ns}
C38	[(T29+T30+T31+T32+T33)/5 - (T1+T2)/2]	Híbridos AA (heterozigotos), Mi (heterozigotos), Ty-1 (heterozigotos) vs Testemunhas suscetíveis	-1,038**	-11,517**
C39	[(T29+T30+T31+T32+T33)/5 - T6]	Híbridos AA (heterozigotos), Mi (heterozigotos), Ty-1 (heterozigotos) vs Testemunha resistente Dominador F ₁	+0,249 ^{ns}	+3,233 ^{ns}
C40	[T34 - (T29+T30+T31+T32+T33)/5]	Híbrido AA (heterozigoto), Mi (homozigoto), Ty-1 (heterozigoto) vs Híbridos AA (heterozigotos), Mi (heterozigotos), Ty-1 (heterozigotos)= reflète o efeito do Mi em homoz vs Mi em heterozigose em híbridos AA (heterozigoto) Ty-1 (heterozigoto)	+0,022 ^{ns}	+1,621 ^{ns}
C41	[(T29+T30+T31+T32+T33)/5 - (T7+T28)/2]	Híbridos AA (heterozigoto), Mi (heterozigoto), Ty-1 (heterozigoto) vs Híbridos Mi (heterozigoto), Ty-1 (heterozigoto), não-AA = reflète o efeito do alto teor de acilaçúcar (em heterozigose), em híbridos portadores de Mi e Ty-1 em heterozigose	-0,105 ^{ns}	-1,746 ^{ns}
C42	[(T35+T36+...+T48)/14 - (T1+T2)/2]	Linhagens derivadas de Dominador F ₁ vs Testemunhas suscetíveis	-1,267**	-15,984**
C43	[(T35+T36+...+T48)/14 - T6]	Linhagens derivadas de Dominador F ₁ vs Testemunha resistente Dominador F ₁	+0,021 ^{ns}	-1,234 ^{ns}

** , * , ^{ns} = Significativo p=0.01, p=0.05 e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

Mi⁺/Mi⁺: suscetível; Mi/Mi⁺: heterozigoto; Mi/Mi: homozigoto; Ty-1⁺/Ty-1⁺: suscetível; Ty-1/Ty-1⁺: heterozigoto; Ty-1/Ty-1: homozigoto; Ty-2/Ty-2: homozigoto; Ty-3/Ty-3: homozigoto; Ty-4/Ty-4: homozigoto; AA: altos teores de acilaçúcar; ZGB: altos teores de zingibereno.

CAPÍTULO III

Déficit hídrico em genótipos de tomateiro

RESUMO

Com o objetivo de comparar grupos de genótipos de tomateiro com diferentes graus de resistência a déficit hídrico, e as possíveis associações desta resistência com características morfofisiológicas, foi conduzido um experimento em ambiente protegido na Universidade Federal de Lavras (UFLA), em vasos, usando o delineamento experimental em blocos casualizados. Os tratamentos consistiram de cinco génotipos: duas linhagens (TOM-684 e TOM-760) com baixa tolerância ao estresse hídrico, duas linhagens (BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk) previamente caracterizadas como resistentes à podridão apical induzida por estresse hídrico, e o híbrido F_1 (BPX-441D-88-bulk x TOM-760). Foram avaliados a porcentagem de frutos com podridão apical, o percentual de flores abortadas, a densidade estomática, os teores de pigmentos cloroplastídicos, a fotossíntese, a transpiração e a condutância estomática. Os dados foram submetidos à análise de variância, as médias dos genótipos foram comparadas pelo teste de tukey ($p=0,05$), e foram calculadas as estimativas dos contrastes entre grupos de genótipos para as várias características analisadas. As linhagens BPX-441D-88-bulk, BPX-441D-55-bulk e o híbrido F_1 (BPX-441D-88-bulk x TOM-760), apresentaram menores valores para o percentual de flores abortadas e de frutos com podridão apical quando comparadas com as linhagens TOM-684 e TOM-760. O híbrido F_1 (BPX-441D-88-bulk x TOM-760) apresentou maiores teores de pigmentos cloroplastídicos do que as médias dos genótipos resistentes e dos suscetíveis. As linhagens BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk apresentaram menores densidades estomática nas faces abaxial e adaxial e, em condições de déficit hídrico, apresentam maiores trocas gasosas. As características avaliadas neste trabalho estão associadas ao déficit hídrico e podem ser usadas como ferramenta nos programas de melhoramento do tomateiro.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*, tolerância à seca, trocas gasosas, podridão apical.

ABSTRACT

With the objective to compare groups of tomato genotypes with different degrees of the drought resistance, and possible associations of this resistance with morphophysiological characteristics, an experiment was conducted in greenhouse at the Federal University of Lavras (UFLA), in pots, using the a randomized blocks. The treatments consisted of five genotypes: two lines (TOM-684 and TOM-760) with low drought tolerance, two lines (BPX-441D-88-bulk and BPX-441D-55-bulk) previously characterized as resistant to blossom end rot induced by drought stress, and the hybrid F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760). We evaluated the percentage of fruit with blossom end rot (PA), the percentage of aborted flowers, stomatal density, the pigment contents, photosynthesis, transpiration and stomatal conductance. Data were submitted to analysis of variance, the average of genotypes were compared by Tukey test ($p = 0.05$), and were calculated estimates of contrasts between genotype groups for the characteristics analyzed. The genotypes BPX-441D-88-bulk, BPX-441D-55-bulk and the hybrid F₁ (BPX-441D-88- bulk x TOM-760), showed lower values aborted flowers (25,20; 49,19 and 50.35% respectively) and fruit PA percentages (2,53; 4,60 and 13,14% respectively) compared with the TOM-684, and TOM-760 (57,46 and 65.97% for aborted flowers and 32.79 and 29.62% for PA, respectively). The hybrid F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760) showed higher chloroplastids pigments levels (45.51) when compared to other genotypes, resistant and susceptible genotypes. The inbred lines BPX-441D-88-bulk and BPX-441D-55-bulk showed lower stomatal density in both abaxial and adaxial leaf surface, and in drought stress conditions, had higher gas exchange. The characteristics evaluated in this study are related to drought and can be used as a tool in tomato breeding programs.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, water stress tolerance, gas exchange, blossom end rot.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e as mudanças climáticas representam um sério desafio para a oferta de alimentos. Para continuar produzindo com a escassez de água e as mudanças generalizadas nos padrões de chuva, devem-se procurar estabelecer a sobrevivência e o rendimento de culturas sob condições de déficit hídrico.

A compreensão dos mecanismos genéticos e fisiológicos que controlam a eficiência do uso da água e da resistência das plantas à seca, no entanto, ainda, é limitada. Na cultura do tomateiro comum (*Solanum lycopersicum* L.), uma alternativa, para facilitar os estudos básicos, foi o cruzamento de espécies selvagens resistentes ao estresse hídrico com microtomateiros, que apresentam porte reduzido e ciclo curto. Assim, obtêm-se ciclos rápidos de seleção com maior controle sobre a metodologia de indução à seca. Os principais avanços obtidos com o tomateiro foram resultados do cruzamento da espécie selvagem *S. pennellii* com o microtomateiro Micro-Tom, obtendo-se uma linhagem de microtomateiro denominada WELL, um acrônimo para “Water Economy Locus in *Lycopersicon*” (ZSÖGÖN, 2012). Nesse caso, fez-se a introgressão de um locus da espécie selvagem *S. pennellii* no microtomateiro Micro-Tom, sendo esse locus responsável por aumentar a eficiência no uso da água. Contudo essa cultivar, ainda, não possui *background* comercial, devendo-se realizar estudos, para verificar a sua real utilidade, para obtenção de cultivares comerciais de tomateiro com maior eficiência no uso de água e/ou tolerantes à seca.

Estudos sobre as variáveis morfológicas e fisiológicas associadas à tolerância à seca devem ser usados, no melhoramento, para auxiliar o desenvolvimento de novos genótipos, comercialmente, aceitáveis. Dentre as alterações apresentadas pelo tomateiro sujeitas à deficiência hídrica e que serão tratadas, neste trabalho, podem-se destacar: o surgimento de podridão apical, abortamento floral, variações na densidade estomática, no conteúdo

de clorofila, na condutância estomática, na transpiração e na fotossíntese. Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos deletérios da baixa disponibilidade hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca (INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; PIMENTEL, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O estresse hídrico, provocado pela baixa umidade ou alta salinidade no solo ou no substrato, pode restringir a absorção de cálcio, cujo movimento na planta está, estreitamente, ligado ao movimento da água, resultando numa distribuição preferencial, para as folhas, acompanhando a corrente transpiratória. O cálcio que chega às folhas permanece imobilizado e não se transloca para os frutos que têm elevada demanda de cálcio (MARTINEZ, 2004), resultando na podridão apical do fruto.

Entre espécies há uma grande variação nas dimensões e frequência de estômatos, o que tem grande importância nas diferenças de regulações das trocas gasosas (ANGELOCCI, 2002), atuando no balanço energético das folhas e no controle da transpiração. O fechamento precoce dos estômatos pode ser desejável, em algumas circunstâncias, entretanto o fechamento dos estômatos limita a condutância estomática e a transpiração, o que reduz, conseqüentemente, a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010).

Desta forma, em condições de estresse hídrico, as variáveis de trocas gasosas podem apresentar alterações de forma distinta, de acordo com a espécie, tanto por limitações difusivas, restringindo a disponibilidade de dióxido de carbono para assimilação, quanto por limitações metabólicas, pelo aumento do efeito fotoinibitório (GONÇALVES et al., 2010). Espécies que são capazes de permanecer realizando fotossíntese, mesmo quando ocorre uma redução da água no solo, podem ser consideradas como tolerantes ao estresse hídrico (CERQUEIRA, 1992).

Outras respostas podem ocorrer juntamente com o fechamento dos estômatos, como a alteração na síntese de clorofila, alterações funcionais e estruturais em cloroplastos e distúrbios nos processos de acumulação, transporte e distribuição de assimilados (ANJUM et al., 2011). O

metabolismo fotossintético é muito sensível à disponibilidade de água, decrescendo em solos secos ou encharcados (PALLARDY, 2008). A produção insuficiente de fotoassimilados, também, pode provocar o abortamento de flores e queda dos botões florais (ALVARENGA, 2013).

Diante do exposto, a identificação de características morfológicas e a compreensão dos mecanismos fisiológicos das plantas submetidas ao déficit hídrico podem auxiliar na determinação de metodologias mais precisas para seleção de genótipos de tomateiro resistentes ao déficit hídrico. O objetivo neste trabalho foi comparar grupos de genótipos de tomateiro descritos por Morales (2012), com diferentes graus de resistência ao déficit hídrico e as possíveis associações desta resistência com características morfofisiológicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), localizado no município de Lavras, MG (21°13'55" S e 44°57'43" W, altitude de 925 m), entre os meses de junho e novembro de 2014.

Foram testados os genótipos TOM-684, TOM-760, BPX-441D-88-bulk, BPX-441D-55-bulk, e o híbrido F₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760). A linhagem TOM-684 foi descrita por Morales (2012) como apresentando baixa tolerância ao estresse hídrico e é isogênica à linhagem TOM-760, também com baixa tolerância. Os genótipos BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk são linhagens derivadas do cruzamento com o microtomateiro WELL (Water Economy Locus in *Lycopersicum*), as quais se caracterizam pela baixa incidência de podridão apical sob estresse hídrico (MORALES, 2012) e possuem características próximas de linhagens comerciais padrão.

A semeadura foi realizada no dia 02 de junho de 2014, em bandejas de isopor de 128 células, preenchidas com substrato comercial Tropstrato HA®. As mudas foram irrigadas diariamente até o ponto de transplântio, que foi feito 45 dias após a semeadura. As plantas transplântadas foram

conduzidas em vasos de 8 L de capacidade, perfurados na base, utilizando como substrato terra de barranco, substrato comercial, areia, calcário e NPK. Os vasos foram dispostos sobre bancada de concreto, com espaçamento de 30 cm entre vasos e 1,5 m entre blocos, em ambiente protegido, com cobertura de filme de polietileno transparente de 150 μm de espessura, classificado como de baixa densidade.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições, sendo cada repetição consistida por cinco vasos com uma planta, totalizando 100 vasos.

Foi realizado controle fitossanitário semanalmente utilizando os seguintes ingredientes ativos (i.a): Acefato (570 g i.a. ha^{-1}), Triflumurom (150 g i.a. ha^{-1}) e Thiamethoxam (10 g i.a. ha^{-1}) no controle de pragas; e Oxicloreto de Cobre (500 g i.a. ha^{-1}), Metalaxil-M (3 g i.a. ha^{-1}), Mancozebe (45 g i.a. ha^{-1}) e Clorotalonil (520 g i.a. ha^{-1}) no controle de doenças.

Para o manejo da irrigação foi usado o método da lisimetria de drenagem, assim como descrito em Bernardo, Mantovani e Soares (2006). Foi medido o consumo das plantas sob 100% da evapotranspiração da cultura (ETc), por meio de uma mangueira de condução de 10 cm de comprimento e 0,5 cm de diâmetro interno, sendo uma extremidade ajustada ao orifício perfurado do vaso e a outra extremidade da mangueira conectada a um recipiente plástico com capacidade de um litro, para controle e coleta da água de drenagem.

Nos primeiros 35 dias após o transplante (DAT), todos os tratamentos foram mantidos com umidade próxima à capacidade de campo, sendo irrigados diariamente. Com o início do estresse hídrico a quantidade de água usada na irrigação foi reduzida para 20% da ETc. Foram avaliados: a porcentagem de frutos com podridão apical e de flores abortadas, a densidade estomática, a taxa de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e o índice SPAD que indica os teores de pigmentos cloroplastídicos.

- *Porcentagem de frutos com podridão apical e o percentual de flores abortadas*: os frutos foram colhidos a cada três dias, desde o início do ciclo produtivo (50 DAT), até finalizar a colheita aos 120 DAT. O número de flores abortadas por planta foi obtido pela diferença entre a quantidade de flores por planta e o número de total de frutos produzidos por planta.
- *Densidade estomática (número médio de estômatos por mm²)*: foram utilizados folíolos do terço superior de cada planta coletados aos 30 DAT. Foram obtidas três amostras da epiderme de cada uma das faces abaxial e adaxial de cada folíolo, utilizando, para isso, a técnica da impressão, com uma gota de adesivo instantâneo universal éster de cianoacrilato (Super-Bonder[®]) em uma lâmina histológica, conforme descrito em Segatto et al. (2004). Posteriormente, estas lâminas foram fotografadas e as fotomicrografias analisadas com o programa Image Tool 3.0, para contagem dos estômatos.
- *Taxa de fotossíntese, transpiração, condutância estomática e o índice SPAD*: foram avaliados aos 30 DAT (antes do estresse) e aos 60 DAT (depois do estresse). Para determinação da taxa de fotossíntese, da transpiração e da condutância estomática, foi utilizado o sistema fechado portátil de fotossíntese, IRGA, modelo LI-6200 (LI-COR), com fluxo de fótons fotossinteticamente, ativos de $930 \pm 120 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e com fonte de luz constante de $900 \text{ } \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Para a determinação dos índices SPAD, utilizou-se o medidor portátil SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development-502), que permite avaliar o estado de N da planta, em tempo real, pela análise da intensidade do verde das folhas, quantificando os teores de pigmentos cloroplastídicos.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias dos genótipos foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. Foram obtidas estimativas de contrastes entre grupos de genótipos com diferentes *backgrounds*, a fim de caracterizar diferenças relevantes relacionadas aos níveis de resistência ao déficit hídrico. As

análises estatísticas foram realizadas por meio do aplicativo estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os genótipos BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk obtiveram, significativamente, menor percentual de flores abortadas do que os genótipos suscetíveis TOM-684 e TOM-760 (Tabela 1 e Tabela 2, C1). O híbrido F_1 obteve menor percentual de flores abortadas do que os genótipos suscetíveis (Tabela 2, C2) e maior percentual de flores abortadas do que os genótipos resistentes (Tabela 2, C3), mostrando-se, portanto, próximo à média dos seus genitores (Tabela 2, C4).

Para a podridão apical, os acessos resistentes não diferem, estatisticamente, do híbrido F_1 (Tabela 1 e Tabela 2, C3), cuja média foi semelhante à média de seus genitores (Tabela 2, C4). Por outro lado, os genótipos BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk e o do híbrido F_1 apresentaram menor percentual de frutos com essa anomalia fisiológica do que a média dos genótipos suscetíveis (Tabela 1 e Tabela 2, C1 e C2).

A média das linhagens resistentes apresentou menor densidade estomática do que a média das linhagens suscetíveis, tanto na face abaxial quanto adaxial (Tabela 1 e Tabela 2, C1). Na face abaxial, o híbrido F_1 apresentou menor densidade estomática do que os genótipos TOM-684 e TOM-760 (Tabela 2, C2), mas não diferiu, significativamente, das linhagens resistentes nem da média dos genitores (Tabela 2, C3 e C4). Para a face adaxial, o híbrido F_1 apresentou densidade estomática maior do que os genótipos resistentes, embora não diferente da média dos seus genitores (Tabela 2, C3 e C4), o que indica apresentar valores intermediários entre as linhagens suscetíveis e as resistentes.

Para o índice SPAD, a tabela de média (Tabela 1) e o contraste C1 (Tabela 3) indicam que existe uma tendência de que os genótipos resistentes apresentem maiores índices (maior estado de N na Planta) tanto sem a

aplicação do estresse hídrico quanto com a indução do estresse. Com a aplicação do déficit hídrico, o híbrido F_1 destacou-se em relação aos demais genótipos (Tabela 3, C2, C3 e C4) e sem a aplicação do estresse hídrico, o híbrido F_1 apresentou valores similares à média das linhagens resistentes (Tabela 3, C3), porém superiores à média das linhagens suscetíveis TOM-760 e TOM-684 e à média dos genitores (Tabela 3, C2 e C4). Os maiores valores para o teor de N nas folhas obtidos pelo híbrido F_1 indicam a presença de efeitos aditivos no controle genético desse caráter.

Sem a aplicação do estresse hídrico, não houve diferença significativa entre os genótipos avaliados para a condutância estomática, para a transpiração e para a fotossíntese (Tabela 1). Em condições de déficit hídrico, as linhagens suscetíveis mostraram menor condutância estomática e transpiração do que as resistentes (Tabela 3, C1). Nestas condições de estresse hídrico, o híbrido apresentou menor condutância do que os genótipos resistentes (Tabela 3, C3), porém, numericamente maior do que a média dos suscetíveis (Tabela 3, C2), estando próximo à média dos pais (Tabela 3, C4).

Valores menores de fotossíntese foram observados para a média dos genótipos suscetíveis em relação à média dos genótipos resistentes tanto com ou sem a aplicação do déficit hídrico (Tabela 3, C1). Em condições de déficit hídrico, o genótipo BPX-441D-55-bulk apresentou maior taxa fotossintética em relação aos outros genótipos avaliados (Tabela 1). Numericamente o híbrido F_1 apresentou maior taxa fotossintética do que a média dos genótipos suscetíveis e menores valores do que a média dos genótipos resistentes, respondendo, de forma similar, à média de seus genitores (Tabela 1 e Tabela 3, C2, C3 e C4).

Os resultados do presente trabalho confirmam que os genótipos BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk são eficientes em reduzir a podridão apical, conforme já descrito por Morales (2012), assim como o híbrido F_1 , mostrando a viabilidade da produção de híbridos com apenas um parental resistente. Essa confirmação de resultados é importante, pois, por

ser uma característica de fácil mensuração, a podridão apical pode integrar as estratégias de seleção de plantas de tomateiro resistentes a esse estresse. Contudo devem-se levar em consideração outras características que podem influenciar a podridão apical, como estresse salino (FRANCO et al., 1999), altas temperaturas (HO et al., 1993), características físicas do solo, balanço catiônico na solução do solo (ARRUDA JÚNIOR et al., 2011), umidade relativa do ar (KREIJ, 1996).

O maior abortamento de botões florais, observado pelos genótipos suscetíveis, pode estar ligado a uma produção insuficiente de fotoassimilados em relação ao grande número de flores produzidas, visto que, em condições de déficit hídrico, essas demandas de fotoassimilados, nas fases de floração e frutificação, não podem ser atendidas (PICANÇO et al., 1998). Outra variável que pode ter sido influenciada pela produção insuficiente de fotoassimilados é o índice SPAD, para o qual a redução na assimilação de CO₂ em razão do fechamento dos estômatos resulta, diretamente, em efeitos prejudiciais sobre o aparelho fotossintético (SASSAKI; MACHADO, 1999). Os maiores valores do índice SPAD observados pelo híbrido podem ser pelo efeito da heterose para o caráter.

Segundo Cerqueira (1992), as espécies que são capazes de permanecer realizando a fotossíntese, mesmo quando ocorre uma redução da água no solo, são consideradas como tolerantes ao estresse hídrico. Essa manutenção, nas taxas fotossintéticas, observada pelas famílias com genealogia do genótipo WELL, é reflexo da condutância estomática (TAIZ; ZEIGER, 2013) e pode ser em virtude da manutenção do potencial da água na folha, conforme sugerem os dados de Morales (2012). Os maiores valores de transpiração dos genótipos BPX-441D-88-bulk e BPX-441D-55-bulk podem desempenhar um efeito resfriador, importante na regulação da temperatura da folha (FARQUHAR; RASCHKE, 1978).

O presente trabalho, ainda, mostra que as famílias com genealogia do genótipo WELL podem possuir maior eficiência estomática, já que apresentaram maiores trocas gasosas em condições de estresse hídrico,

mesmo com uma menor densidade estomática, uma vez que o número de estômatos está diretamente ligado à condutância de gases (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Isso evidencia a sua importância e o seu potencial em programas de melhoramento como fontes de resistência a déficits hídricos.

4 CONCLUSÕES

- As famílias com genealogia do genótipo WELL apresentaram maiores trocas gasosas em condições de estresse hídrico, mesmo com uma menor densidade estomática;
- As características avaliadas neste trabalho estão associadas ao déficit hídrico e podem ser usadas como ferramenta nos programas de melhoramento do tomateiro.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), à Universidade Federal de Lavras (UFLA), à Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE), à Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural (FUNDECC) e à HortiAgro Sementes, pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate, produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**: origem botânica e descrição da planta. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera**: introdução ao tratamento biofísico. Piracicaba: Edição do autor, 2002. 272 p.
- ANJUM, S. A. et al. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. **African Journal of Agricultural Research**, Lesotho, v. 6, n. 9, p. 2026-2032, 2011.
- ARRUDA JÚNIOR, S. J. et al. Podridão apical e produtividade do tomateiro em função dos teores de cálcio e amônio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 4, p. 20-26, 2011.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SOARES, A. A. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 611 p.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CERQUEIRA, Y. M. Efeito da deficiência de água na anatomia de cultivares de mandioca *Manihot esculenta* Crantz: densidade estomática. **Sitientibus**, Feira de Santana, n. 10, p. 103-115, 1992.
- FARQUHAR, G. D.; RASCHKE, K. On the resistance to transpiration of the sites of transpiration within the leaf. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 61, n. 6, p. 1000-1005, 1978.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FRANCO, J. A. et al. Effect of two irrigation rates on yield, incidence of blossom end rot, mineral content, and free amino acid levels in tomato cultivated under drip irrigation using saline water. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Warwick, v. 74, n. 1, p. 430-435, 1999.
- GONÇALVES, E. R. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedade de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

HO, L. C. et al. Up take and transport of calcium and the possible causes of blossom-end rot in tomato. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 366, p. 509-518, 1993.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 185-202, 2005.

KREIJ, C. Interactive effects of air humidity, calcium and phosphate on blossom-end rot, leaf deformation, production and nutrient contents of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 1, p. 361-377, 1996.

MARTINEZ, H. E. P. Distúrbios nutricionais em hortaliças cultivadas em substratos com baixa atividade química. In: BARBOSA, J. G. et al. **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substratos**. Viçosa, MG: UFV, 2004. 434 p.

MORALES, R. G. F. **Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivadas de *Solanum pennellii***. 2012. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PALLARDY, S. G. **Physiology of woody plants**. 3th ed. San Diego: Academic, 2008. 454 p.

PICANÇO, M. et al. Yield loss in trellised tomato affected by insecticidal sprays end plant spacing. **Crop Protection**, Guildford, v. 17, p. 447-452, 1998.

PIMENTEL, C. **A relação da planta com a água**. Seropédica: EDUR, 2004. 191 p

SASSAKI, R. M.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 9, p. 1571-1579, 1999.

SEGATTO, F. B. et al. Técnica para estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, p. 1597-1601, 2004.

SILVA, C. D. S. et al. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 7-13, 2010.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

ZSÖGÖN, A. **Identification and characterization of tomato introgression line with reduced wilting under drought.** 2012. 188 p. Thesis (Doctorat in Agronomy) – University of Canberra, Canberra, 2012.

Tabela 1 Valores médios para percentual de flores abortadas (%), e de frutos com podridão apical (%), para densidade estomática nas faces adaxial e abaxial (nº de estômatos/mm²) e para índice SPAD, condutância estomática (mol m⁻² s⁻¹), transpiração (mmol m⁻² s⁻¹) e taxa de fotossíntese (µmol CO₂ m⁻² s⁻¹) sem condições de déficit hídrico (S/D) e com condições de déficit hídrico (C/D), de genótipos de tomate em situação de déficit hídrico. Lavras, UFLA, 2016.

Genótipo	Flores Abortadas (%)	Podridão Apical (%)	Densidade estomática (nº/mm ²)		Índice SPAD		Condutância Estomática		Transpiração		Fotossíntese	
			Adaxial	Abaxial	S/D	C/D	S/D	C/D	S/D	C/D	S/D	C/D
TOM-684	57,46 ab	29,62 ab	102,69 ab	219,88 a	38,56 cd	38,63 b	0,84 a	0,037 a	7,21 a	0,99 a	25,35 a	4,40 ab
TOM-760	65,97 a	32,79 a	118,32 a	199,90 ab	38,02 d	38,91 b	0,77 a	0,035 a	6,87 a	0,94 a	25,66 a	3,77 b
BPX-441D-88-bulk	25,20 c	2,53 c	55,52 c	159,29 b	40,94 bc	39,63 ab	0,80 a	0,050 a	6,67 a	1,16 a	27,29 a	5,06 ab
BPX-441D-55-bulk	49,19 b	4,60 c	86,45 b	181,07 ab	44,01 a	43,80 ab	0,83 a	0,054 a	7,41 a	1,36 a	28,39 a	6,14 a
F ₁ (BPX-441D-88-bulk x TOM-760)	50,35 ab	13,14 bc	96,03 ab	174,15 ab	41,52 b	45,51 a	0,76 a	0,038 a	6,52 a	1,00 a	26,65 a	4,40 ab

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (p=0.05).

Tabela 2. Estimativas dos contrastes de interesse para comparações de resistência ao déficit hídrico entre genótipos e/ou grupos de genótipos de tomateiro. UFLA, Lavras-MG, 2016.

Contraste de Interesse ¹	Descrição	Flores abortadas (%)	Podridão apical (%)	Densidade estomática (n°/mm ²)	
				Adaxial	Abaxial
$C1 = [(T1+T2)/2 - (T3+T4)/2]$	Linhagens susceptíveis vs Linhagens resistentes	+24,53**	+27,64**	+39,52**	+39,71**
$C2 = [(T5) - (T1+T2)/2]$	Híbrido F ₁ vs Linhagens susceptíveis	-11,37*	-18,06**	-14,47 ^{ns}	-35,74*
$C3 = [(T5) - (T3+T4)/2]$	Híbrido F ₁ vs Linhagens resistentes	+13,16**	+9,58 ^{ns}	+25,05**	+3,97 ^{ns}
$C4 = [(T5) - (T2+T3)/2]$	Híbrido F ₁ vs Média dos pais	+4,77 ^{ns}	-4,52 ^{ns}	+9,11 ^{ns}	-5,44 ^{ns}

** , * , ns = significativo p=0.01, p=0.05 e não significativo, respectivamente.

¹ (T1) TOM-684; (T2) TOM-760; (T3) BPX-441D-88-bulk; (T4) BPX-441D-55-bulk; (T5) F₁(BPX-441D-88-bulk x TOM-760).

Tabela 3. Estimativas dos contrastes de interesse para comparações de resistência ao déficit hídrico entre genótipos e/ou grupos de genótipos de tomate sem condições de déficit hídrico (S/D) e com condições de déficit hídrico (C/D). Lavras, UFLA, 2016.

Contraste de Interesse ¹	Descrição	Índice SPAD		Condutância estomática (mol m ⁻² s ⁻¹)		Transpiração (mmol m ⁻² s ⁻¹)		Fotossíntese (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	
		S/D	C/D	S/D	C/D	S/D	C/D	S/D	C/D
C1=[(T1+T2)/2 - (T3+T4)/2]	Linhagens susceptíveis vs Linhagens resistentes	-4,18**	-2,94 ^{ns}	-0,008 ^{ns}	-0,016**	-0,005 ^{ns}	-0,297**	-2,33*	-1,52**
C2=[(T5) - (T1+T2)/2]	Híbrido F ₁ vs Linhagens susceptíveis	+3,22**	+6,74**	-0,052 ^{ns}	+0,002 ^{ns}	-0,523 ^{ns}	+0,037 ^{ns}	+1,15 ^{ns}	+0,32 ^{ns}
C3=[(T5) - (T3+T4)/2]	Híbrido F ₁ vs Linhagens resistentes	-0,96 ^{ns}	+3,79*	-0,060 ^{ns}	-0,013*	-0,528 ^{ns}	-0,260 ^{ns}	-1,18 ^{ns}	-1,19 ^{ns}
C4=[(T5) - (T2+T3)/2]	Híbrido F ₁ vs Média dos pais	+2,03**	+6,24**	-0,030 ^{ns}	-0,004 ^{ns}	-0,257 ^{ns}	-0,050 ^{ns}	+0,18 ^{ns}	-0,01 ^{ns}

** , * , ns = significativo p=0.01, p=0.05 e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

¹ (T1) TOM-684; (T2) TOM-760; (T3) BPX-441D-88-bulk; (T4) BPX-441D-55-bulk; (T5) F₁(BPX-441D-88-bulk x TOM-760).