

RAFAEL HENRIQUE FERNANDES

**DESENVOLVIMENTO E DESEMPENHO DE PORTA-ENXERTOS DE
TOMATEIRO RESISTENTES À *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*
RAÇAS 1, 2 E 3**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F363d
2018
Fernandes, Rafael Henrique, 1989-
Desenvolvimento e desempenho de porta-enxertos de
tomateiro resistentes à *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*
raças 1, 2 e 3 / Rafael Henrique Fernandes. – Viçosa, MG, 2018.
x, 71f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Derly José Henriques da Silva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 61-71.

1. *Solanum lycopersicum* - Melhoramento genético.
2. Enxertia. 3. Murcha-de-fusarium. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

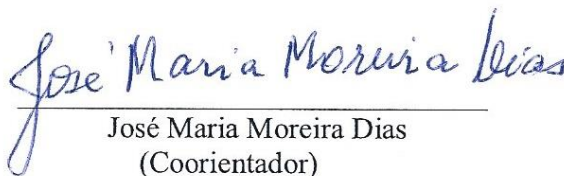
CDD 22. ed. 635.6429

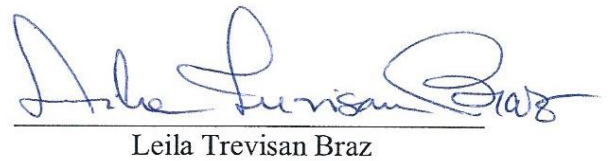
RAFAEL HENRIQUE FERNANDES


**DESENVOLVIMENTO E DESEMPENHO DE PORTA-ENXERTOS DE
TOMATEIRO RESISTENTES À *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*
RAÇAS 1, 2 E 3**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título *Doctor Scientiae*.


APROVADA: 30 de agosto de 2018.


José Maria Moreira Dias
(Coorientador)


Leila Trevisan Braz


Everaldo Antônio Lopes


Camilo Elber Vital


Derly José Henriques da Silva
(Orientador)

DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, João Batista e Maria Abadia,
aos meus irmãos Raniel e Renato,
e à minha namorada Dinaíza.*

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me conceder saúde, física e mental, para transpor momentos difíceis durante esta caminhada.

Aos meus pais, João Batista e Maria Abadia, pela confiança e incentivo apesar de minhas longas ausências.

Aos meus irmãos, Raniel e Renato, por serem grandes incentivadores da minha trajetória e pelos valiosos conselhos.

A minha namorada Dinaíza, pelo apoio, incentivo, carinho e amor. Agradeço a ela também pelos milhares de quilômetros rodados para estar o mais presente possível em momentos importantes.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Agradeço ao meu orientador, professor Derly José Henriques da Silva, pela acolhida, conhecimentos compartilhados, amizade, paciência e dedicação.

Aos coorientadores, professores José Maria e Edgar, pelas valiosas recomendações e ensinamentos que tornaram este trabalho possível.

Ao professor Everaldo Antônio Lopes pelo incentivo, amizade e aconselhamentos.

Aos integrantes do Núcleo de Estudos em Olericultura da UFV (NEO-UFV) pelas oportunidades, momentos de agradável convívio e aprendizado. Em especial aos colegas Fábio, Ronaldo Júnior, Bruno, Renata e Hérica pelo apoio e amizade.

Aos funcionários da Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão (UEPE) Horta Velha, por todo auxílio no desenvolvimento e condução dos ensaios.

Aos amigos Camilo Vital e Jamilton Soares, pelo grande auxílio nas avaliações.

Ao Engenheiro Agrônomo Robson Luz Costa, pelo incentivo e confiança transmitidos.

Aos membros da banca, pela disposição e contribuições.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Técnico e Científico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

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

Obrigado!

BIOGRAFIA

Rafael Henrique Fernandes, filho de João Batista Fernandes e Maria Abadia Fernandes Caixeta, nasceu em 13 de abril de 1989, na cidade de Patos de Minas, Minas Gerais, Brasil.

Ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba-MG (UFV-CRP) em setembro de 2007. Graduando-se Engenheiro Agrônomo em dezembro de 2012.

Em novembro de 2012, iniciou o curso de Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal na Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba-MG (UFV-CRP), submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2014.

Em agosto de 2014, iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa-MG (UFV), submetendo-se à defesa de tese em agosto de 2018.

ÍNDICE

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. CAPÍTULO I - OBTENÇÃO E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO	5
2.1 RESUMO	5
2.2 ABSTRACT	6
2.3 INTRODUÇÃO.....	7
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
2.4.1 Local de realização dos ensaios	9
2.4.2 Material vegetal e isolados fúngicos utilizados	9
2.4.3 Cruzamentos e obtenção dos híbridos	10
2.4.4 Multiplicação dos isolados de <i>FOL</i>	11
2.4.5 Seleção dos híbridos resistentes.....	11
2.4.6 Caracterização dos híbridos resistentes às três raças de <i>FOL</i>	13
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
2.5.1 Seleção de híbridos resistentes	15
2.5.2 Caracterização dos híbridos resistentes às três raças de <i>FOL</i>	19
2.6 CONCLUSÃO.....	22
3. CAPÍTULO II - ANÁLISE HORMONAL EM TOMATEIROS ENXERTADOS EM HÍBRIDOS RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO	23
3.1 RESUMO	23
3.2 ABSTRACT	24
3.3 INTRODUÇÃO.....	25
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.4.1 Material vegetal utilizado	28
3.4.2 Local do ensaio e obtenção de mudas enxertadas.....	28
3.4.3 Condução e amostragem em mudas antes do transplântio	29
3.4.4 Condução e amostragem em plantas.....	29
3.4.5 Avaliações de fitohormônios	30
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.6 CONCLUSÃO.....	36

4. CAPÍTULO III - TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE TOMATE CEREJA COM PORTA-ENXERTOS RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO.....	38
4.1 RESUMO	38
4.2 ABSTRACT	39
4.3 INTRODUÇÃO.....	40
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.4.1 Material vegetal utilizado	42
4.4.2 Caracterização do local do ensaio e condução de mudas	42
4.4.3 Condução do ensaio	44
4.4.4 Avaliações de altura, número de folhas e taxa de pegamento de frutos	44
4.4.5 Avaliações de trocas gasosas	45
4.4.6 Avaliações de produção, cor e qualidade dos frutos.....	45
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.5.1 Avaliações de altura, número de folhas e taxa de pegamento de frutos	47
4.5.2 Trocas gasosas	50
4.5.3 Produção, cor e qualidade dos frutos	52
4.6 CONCLUSÃO.....	58
5. CONCLUSÕES GERAIS	59
6. REFERÊNCIAS	61

RESUMO

FERNANDES, Rafael Henrique, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2018. **Desenvolvimento e desempenho de porta-enxertos de tomateiro resistentes à *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raças 1, 2 e 3.** Orientador: Derly José Henriques da Silva. Coorientadores: José Maria Moreira Dias e Edgard Augusto de Toledo Picoli.

A grande diversidade do gênero *Solanum* conservada em bancos de germoplasma permite que utilização de genótipos com genes de interesse já identificados possam ser utilizados na rápida obtenção de híbridos com resistências à patógenos. A murcha de fusário é uma doença de solo altamente destrutiva, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (*FOL*). Este fungo possui três raças fisiológicas descritas (raças 1, 2 e 3) capaz de infectar cultivares com diferentes *loci* de resistência. Diferentemente das raças 1 e 2, a raça 3 ainda tem distribuição geográfica limitada, representando grande risco à tomaticultura tropical pela escassez de cultivares adaptadas e resistentes a esta raça. A enxertia pode ser uma alternativa para o cultivo de materiais suscetíveis mesmo em áreas infectadas, através do desenvolvimento de porta-enxertos resistentes. Os porta-enxertos devem, além de conferir resistência ao patógeno que se deseja controlar, ter boa compatibilidade com a variedade copa e não influenciar negativamente na produtividade e qualidade dos frutos. Assim, o objetivo foi obter híbridos de tomateiro resistentes à murcha de fusário e direcioná-los quanto ao potencial uso no manejo da doença. Foram obtidos cinco híbridos intraespecíficos de *Solanum lycopersicum*, denominados FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 e FOX5, mediante cruzamentos de linhagens de introgressão de *Solanum pennellii* (LA4025, LA4026, LA4065, LA4066 e LA4067, que contém o gene *I-3* de resistência a raça 3 de *FOL*) e uma cultivar comercial, que possui resistência às raças 1 e 2. Os híbridos FOX1 e FOX4 foram selecionados por demonstrarem resistência às três raças de *FOL* e direcionados como possíveis porta-enxertos a serem utilizados no manejo da doença. O híbrido de tomateiro cereja Sweet Heaven foi usado como cultivar copa (enxerto) para FOX 1 e FOX4. A possibilidade de averiguar a compatibilidade entre estes materiais foi realizada através de avaliações das concentrações de fitohormônios em raízes e folhas, 20 dias após a enxertia, e em folhas aos 70 dias após a enxertia. A concentração de alguns fitohormônios relacionados a estresses foi alterada, provavelmente causados pela enxertia. Por exemplo, as folhas de plantas enxertadas com o híbrido FOX1 tiveram menor concentração de ácido salicílico (AS) e maior concentração de ácido abscísico (ABA) aos 70 dias após a enxertia. As altas concentrações de ABA sugerem algum grau de incompatibilidade entre FOX1 e Sweet

Heaven, enquanto a concentração deste fitohormônio foi menor em FOX4/SH, indicando maior compatibilidade entre eles. Contudo, por se tratar de um procedimento ainda pouco explorado, é necessário o estudo da compatibilidade dos materiais em condições de cultivo para analisar a viabilidade de interpretações a partir deste tipo de análise. Posteriormente, o desempenho dos híbridos FOX1 e FOX4 como porta-enxertos de Sweet Heaven foi verificado através de um ensaio em condições de casa de vegetação. Os tratamentos consistiram no cultivo de plantas com a combinação entre enxerto e porta-enxertos (FOX1/SH e FOX4/SH), autoenxertia de Sweet Heaven (SH/SH) e plantas pé-franco de Sweet Heaven (SH). Foram realizadas avaliações do crescimento e número de folhas do transplantio até a poda apical (1,80 m), taxa de pegamento dos frutos no 3º e 5º cachos da haste principal, trocas gasosas aos 30, 60 e 90 dias após o transplantio, variáveis relacionadas a produtividade, cor e qualidade dos frutos. A maior parte das variáveis analisadas não foi afetada pela enxertia com FOX1 e FOX4, com exceção da taxa de pegamento dos frutos, que foi reduzida pela enxertia, mas não comprometeu a produtividade. A avaliação de qualidade dos frutos evidenciou reduções na firmeza, sólidos solúveis totais e no pH da polpa em frutos de plantas enxertadas com FOX1 (FOX1/SH), o que pode comprometer sua adoção como porta-enxerto. Por sua vez, as plantas de FOX4/SH tiveram desempenho equivalente aquelas de Sweet Heaven em pé-franco em praticamente todas as avaliações, incluindo a qualidade dos frutos. Portanto, conclui-se que o híbrido FOX4 é material promissor a ser utilizado como porta-enxerto, visando o manejo da murcha de fusário em tomateiro.

ABSTRACT

FERNANDES, Rafael Henrique, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2018. **Development and performance of tomato rootstocks resistant of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races 1, 2 e 3.** Adviser: Derly José Henriques da Silva. Co-advisers: José Maria Moreira Dias and Edgard Augusto de Toledo Picoli.

The great diversity of the genus *Solanum* conserved in germplasm banks allows that the use of genotypes with genes of interest already identified can be used in the fast obtaining of hybrids with resistances to pathogens. Fusarium wilt is a soil disease highly destructive, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (*FOL*). This fungus has three described physiological races (races 1, 2 and 3) capable of infecting cultivars with different resistance *loci*. Differently races 1 and 2, race 3 still has limited geographical distribution, representing a great risk to tropical tomato crop due to the scarcity of cultivars adapted and resistant to this race. Grafting may be an alternative for the cultivation of susceptible materials even in infected areas through the development of resistant rootstocks. Besides providing resistance to the pathogen to be controlled, rootstocks should have a good compatibility with the canopy variety and should not negatively influence productivity and fruit quality. Thus, the objective was to obtain tomato hybrids resistant to Fusarium wilt and to direct them regarding the potential use in the management of the disease. Five intraspecific hybrids of *Solanum lycopersicum*, called FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 and FOX5 were obtained through crossings of introgression lineages of *Solanum pennellii* (LA4025, LA4026, LA4065, LA4066 e LA4067, which contains the resistance gene I-3 for race 3 *FOL*) and a commercial cultivar that has resistance to races 1 and 2. The hybrids FOX1 and FOX4 were selected for demonstrating resistance to the three *FOL* races and directed as possible rootstocks to be used in the management of the disease. A hybrid cherry tomato (Sweet Heaven) was used as a canopy variety (scion) for FOX1 and FOX4. The possibility of ascertaining the compatibility between these materials was made through evaluations of phytohormone concentrations in roots and leaves, 20 days after grafting, and in leaves at 70 days after grafting. The concentration of some related stress phytohormones was altered, probably caused by grafting. For example, leaves of plants grafted with the FOX1 hybrid had a lower concentration of salicylic acid (AS) and higher concentration of abscisic acid (ABA) at 70 days after grafting. The high concentrations of ABA suggest some degree of incompatibility between FOX1 and Sweet Heaven, whereas the concentration of this

phytohormone was lower in FOX4/SH, indicating a greater compatibility between them. However, because it is a procedure that is still little explored, it is necessary to study the compatibility of the materials under cultivation conditions to analyze the viability of interpretations from this type of analysis. Subsequently, the performance of the FOX1 and FOX4 hybrids as Sweet Heaven rootstocks was verified through test under greenhouse conditions. The treatments consisted in the cultivation of plants with the combination between graft and rootstock (FOX1/SH and FOX4/SH), Sweet Heaven self-grafting (SH/SH) and Sweet Heaven (SH) non-grafting plants. Were evaluated growth and number of leaves from transplanting to apical pruning (1.80 m), the rate of fruit keeping in the 3rd and 5th bunches of the main stem, gas exchange at 30, 60 and 90 days after transplanting, variables related to fruit productivity, color and quality. Most of the variables analyzed it was not affected by grafting with FOX1 and FOX4, except for the rate of fruit keeping, which was reduced by grafting, but did not compromise productivity. The fruit quality evaluation evidenced reductions in firmness, total soluble solids and pH of the pulp in fruits of plants grafted with FOX1 (FOX1/SH), which may compromise its adoption as rootstock. Whereas, FOX4/SH plants had a performed equivalent to those of Sweet Heaven non-grafting in practically all evaluations, including fruit quality. Therefore, it is concluded that the FOX4 hybrid is a promising material to be used as a rootstock, aiming at the management of Fusarium wilt in tomato.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae e sua origem é a região Andina, incluindo Chile, Bolívia, Peru, Equador e Colômbia, onde são encontrados os ancestrais silvestres dessa espécie. Contudo, o seu provável centro de domesticação é a região de Vera Cruz – Puebla, no México. É uma das hortaliças mais cultivadas no mundo, sendo encontrada em praticamente todas as regiões e sob diferentes sistemas de cultivo e manejo.

A tomaticultura apresenta grande importância no cenário econômico mundial. Em 2016, a produção foi superior a 177 milhões de toneladas, em área de aproximadamente 4,8 milhões de hectares e produtividade média em torno de 37 t ha⁻¹. Um levantamento dos últimos 20 anos (1996-2016) indica crescimento mundial de 91,02% da produção, 40,62% da área plantada e 35,86% na produtividade do tomateiro (Faostat, 2017).

O tomateiro é uma planta modelo para pesquisadores de diversas áreas do conhecimento e tem sido melhorado visando adaptabilidade a ambientes diversificados, resistência a pragas e doenças, e à produção e qualidade dos frutos (Bergougnoux, 2014). Contudo, estes fatores continuam sendo limitantes para a tomaticultura, devido à escassez de cultivares que combinem boas características agronômicas, ampla gama de resistências a patógenos e atinjam altas produtividades.

Dentre os vários problemas fitossanitários que ocorrem na cultura do tomateiro, a incidência de doenças tem destaque, devido ao grande número de patógenos e os prejuízos que causam. São descritas cerca de duzentas doenças, bióticas e abióticas, que afetam a tomaticultura em todo o mundo (Lopes & Ávila, 2005).

Uma doença de grande relevância que afeta o tomateiro é a murcha de fusário, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen (*FOL*). Esta espécie tem três raças descritas (raças 1, 2 e 3) que podem ser identificadas pela sua capacidade de infectar e causar doença em uma série de cultivares diferenciadoras, contendo diferentes *loci* de resistência.

No que se refere às suas distribuições geográficas, as raças 1 e 2 são encontradas na maioria das regiões produtoras de tomate em todos os continentes (Tokeshi & Galli, 1966; Stravato et al., 1999). Enquanto que a raça 3 ainda tem distribuição limitada, segundo os levantamentos realizados até o momento. A raça 3 é encontrada nos Estados Unidos (Volin & Jones, 1982; Davis et al., 1988; Cai et al., 2003), Austrália (Grattidge & O'Brien, 1982), Brasil (Reis et al., 2005; Reis & Boiteux, 2007), África do Sul (Jacobs

et al., 2013), Nova Zelândia, Reino Unido, Venezuela e México (Valenzuela-Ureta et al., 1996).

No Brasil, a raça 3 foi descrita primeiramente afetando cultivos comerciais no estado do Espírito Santo (Reis et al., 2005) e, posteriormente, no Rio de Janeiro (Reis & Boiteux, 2007). Recentemente, isolados da raça 3 também foram identificados nos estados da Bahia (Barboza et al., 2013) e Minas Gerais (Gonçalves, 2015). Ainda que existam limitações geográficas, esta doença representa grande risco à tomaticultura tropical, pela ameaça eminente de disseminação e à falta de cultivares resistentes e adaptadas disponíveis em grande escala para os produtores.

A doença pode se manifestar em qualquer estágio fenológico da cultura; todavia, é mais comum em plantas no início do florescimento e frutificação (Kurozawa & Pavan, 2005). Os principais sintomas da ocorrência de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* são o amarelecimento das folhas mais velhas e murcha de toda a planta nas horas mais quentes do dia (Lopes & Santos, 1994). A infecção causa escurecimento do sistema vascular da planta, que ocorre devido a oxidação e polimerização de hidroxifenóis, ação de enzimas oxidases e toxinas produzidas pelo fungo. A principal toxina é o ácido fusárico que causa aumento na permeabilidade das membranas celulares e resulta em alterações no equilíbrio iônico e perda de eletrólitos pelas células (Tamari & Kaji, 1954; Nelson, 1981). Este é um fungo de solo de difícil manejo, pois forma estruturas de resistência, chamadas clamidósporos, que podem permanecer viáveis no solo durante longos períodos, inviabilizando o cultivo na área infectada (Reis & Lopes, 2007).

Os genes *I-1*, *I-2*, *I-3* e *I-7* (*I-immunity*) foram identificados em diferentes acessos de *Solanum* spp. e conferem resistência raça-específica a isolados de *FOL* (Ma et al., 2013). O gene *I-1* foi identificado no acesso PI9532 de *Solanum pimpinellifolium* e confere resistência à raça 1. O gene *I-2* foi identificado em um híbrido natural de *S. lycopersicum* e *S. pimpinellifolium*, PI126915, e é responsável pela resistência a raça 2. Os genes *I-3* e *I-7* conferem resistência à raça 3 de *FOL*, tendo sido identificados nos acessos LA0716 e PI414773 de *Solanum pennellii*, respectivamente (Bohn & Tucker, 1940; Alexander & Hoover, 1955; Grattidge & O'Brien, 1982; McGrath et al., 1987). O desenvolvimento de cultivares com resistência às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (*FOL*) através da utilização destes genes de forma simultânea ainda é recente no Brasil.

O Centro de Recursos Genéticos do Tomate (Tomato Genetic Resource Center – TGRC), localizado na Universidade da Califórnia, em Davis-EUA, é responsável por uma

das principais coleções de germoplasma do tomateiro, na qual a diversidade do gênero *Solanum* é preservada. Tais coleções são fundamentais para o melhoramento genético do tomateiro. O TGRC disponibiliza a relação dos genes já identificados em cada um dos genótipos disponíveis em sua coleção (TGRC, 2018). A utilização de genótipos de tomateiro contendo os genes que conferem resistência às raças de *FOL* pode ser uma estratégia eficiente para a obtenção de híbridos com potencial para o manejo desta doença.

A produção de tomate cereja tem ganhado cada vez mais espaço na tomaticultura. No entanto, o cultivo deste tipo de tomate é quase que restrito a condições de ambiente protegido com a utilização de substratos esterilizados, justamente em razão da falta de cultivares adaptadas a condições adversas e com resistência às principais enfermidades associadas ao tomateiro. Este tipo de sistema de cultivo, embora propício para o desenvolvimento da cultura, necessita de alto investimento financeiro, o que limita o número de produtores capazes de se inserir neste mercado.

Diante deste cenário, a enxertia é uma alternativa para o cultivo do tomateiro cereja diretamente no solo. A enxertia é um método de propagação vegetativa amplamente empregado na horticultura. Consiste em unir partes de duas ou mais plantas diferentes, permitindo que cresçam e desenvolvam juntas como um único indivíduo, normalmente combinando as características de cada parte para melhorar a resistência a pragas e doenças, tolerância a estresses abióticos, produtividade e qualidade dos frutos (Mudge et al., 2009). Até o momento, não existem cultivares de tomateiro cereja com resistência às três raças de *FOL* e o desenvolvimento de porta-enxertos resistentes pode viabilizar o cultivo em áreas infectadas.

No manejo integrado de patógenos habitantes do solo, a utilização de mudas enxertadas é uma importante opção de controle. Isto porque o agricultor não necessita de mudanças drásticas no manejo da cultura, nem mesmo do conhecimento para realizar cálculos, usar novos equipamentos, ou ainda se preocupar com a eliminação de resíduos (Hoyos, 2000).

Um porta-enxerto deve, além de ser eficaz no objetivo ao qual foi proposto, apresentar boa compatibilidade com a cultivar copa (enxerto). Também é necessário que não influencie negativamente a produtividade e a qualidade dos frutos, em comparação com o que a cultivar copa produziria sem a sua utilização.

A compatibilidade na enxertia é definida como sendo a capacidade de partes de duas ou mais plantas, formarem uma união bem sucedida e conviverem satisfatoriamente como uma única planta (Hartmann et al., 2011). A compatibilidade entre genótipos não

pode ser prevista com precisão através de um método específico, em razão da complexidade dos numerosos mecanismos envolvidos neste processo. De maneira geral, a probabilidade de êxito aumenta à medida que a afinidade botânica entre as espécies é maior (Peil, 2003). Pesquisas têm sido realizadas para esclarecer como a incompatibilidade na enxertia se manifesta. Análises anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares estão entre as principais linhas de investigação (Pina & Errea, 2005; Aloni et al., 2010; Pina et al., 2012).

Diante disso, realizar um trabalho visando a obtenção de genótipos resistentes às três raças causadoras da murcha de fusário no tomateiro, requer a execução de várias etapas. Iniciando pela escolha dos genitores, obtenção de progênes e teste de suscetibilidade. No desenvolvimento de porta-enxertos, é necessário também avaliar sua compatibilidade com a cultivar copa (enxerto) e seu desempenho, visando identificar suas potencialidades de utilização, tendo em vista que, tais características são intrínsecas das diferentes combinações entre enxerto e porta-enxerto.

2. CAPÍTULO I

OBTENÇÃO E SELEÇÃO DE HÍBRIDOS DE TOMATEIRO RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO

2.1 RESUMO

A murcha de fusário, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (FOL) possui três raças descritas (raças 1, 2 e 3) e é uma doença de solo altamente destrutiva que acomete a cultura do tomateiro. Esta doença representa grande risco a tomaticultura tropical, devido à ameaça eminente de disseminação da raça 3 e a falta de cultivares resistentes disponíveis em grande escala. Diante disso, o objetivo foi obter híbridos de tomateiro mediante o cruzamento de genitores contendo os genes de resistência às diferentes raças de *FOL*, selecionar aqueles com múltipla resistência e direcioná-los para o manejo da doença. Para isso, foram utilizados como genitores linhagens de introgressão LA4025, LA4026, LA4065, LA4066 e LA4067 (possuem o gene I-3 que confere resistência à raça 3) e uma cultivar comercial com resistência às raças 1 e 2. Foram obtidos cinco híbridos intraespecíficos de *Solanum lycopersicum*, nomeados de FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 e FOX5. Foi realizado teste de suscetibilidade às diferentes raças de FOL. Plantas com 21 dias, dos híbridos e da cultivar Ponderosa (padrão de suscetibilidade) tiveram suas raízes mergulhadas em suspensão de esporos (1×10^6 esporos mL⁻¹) dos isolados FUS-027 ‘raça 1’, FUS-023 ‘raça 2’ e FUS-374 ‘raça 3’, além de uma suspensão contendo a mistura das três raças e outra sem o fungo. Em seguida, as plantas foram transplantadas para vasos contendo solo e areia (1:1, v:v) e dispostos aleatoriamente em casa de vegetação. Após 21 dias da inoculação das raízes foi realizada a avaliação por meio de escala de notas, variando de 1,00 (plantas sem sintomas) a 5,00 (plantas mortas). Posteriormente, foi realizada a categorização dos níveis de resistência de cada híbrido. Os híbridos FOX1 e FOX4 se destacaram por apresentar resistência às três raças de *FOL* e à mistura delas. Estes híbridos foram cultivados para caracterização, que evidenciou a possibilidade de uso de FOX1 e FOX4 como porta-enxertos visando o manejo da murcha de fusário.

Palavras-chave: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, mistura de raças, porta-enxerto, suscetibilidade.

OBTAINING AND SELECTION OF TOMATO HYBRIDS RESISTANT TO FUSARIUM WILT

2.2 ABSTRACT

Fusarium wilt, caused by the fungus *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (*FOL*) has three described races (races 1, 2 and 3) and is a highly destructive soil disease that affects the tomato crop. This disease represents a greater risk to tropical tomaticulture due to the imminent risk of dissemination of race 3 and the lack of resistant cultivars available on a large scale. Therefore, the objective was to obtain tomato hybrids through the crossbreeding of parents containing resistance genes to the different *FOL* races, select those with multiple resistance and direct them to the management of the disease. For this, were used introgression lines as parents LA4025, LA4026, LA4065, LA4066 and LA4067 (have the I-3 gene that confers resistance to race 3) and a commercial cultivar with resistance to races 1 and 2. Five intraspecific hybrids of *Solanum lycopersicum* were obtained, named FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 and FOX5. It was conducted susceptibility testing at different races of *FOL*. Plants with 21 days of hybrids and cultivar Ponderosa (susceptibility pattern) had their roots dipped in spore suspension (1×10^6 spores mL⁻¹) of isolates FUS-027 'race 1', FUS-023 'race 2' and FUS-374 'race 3') besides a suspension containing the mixture of the three races and another one without the fungus. Then, the plants were transplanted to pots containing soil and sand (1:1, v:v) and disposed randomly in the greenhouse. After 21 days of root inoculation, the evaluation was performed through of scale of notes, ranging from 1.00 (plants without symptoms) to 5.00 (dead plants). Subsequently, the resistance levels of each hybrid were categorized. The hybrids FOX1 and FOX4 stand out for their resistance to the three *FOL* breeds and to mixture of them. These hybrids were cultivated for characterization, evidencing the possibility of using FOX1 and FOX4 as rootstocks for the management of Fusarium wilt.

Key-words: *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, mixture of races, rootstock, susceptibility.

2.3 INTRODUÇÃO

O tomate é uma das hortaliças mais consumidas em todo o mundo e seu cultivo é amplamente difundido nas mais diversas regiões. A principal espécie cultivada, *Solanum lycopersicum* L., tem seu centro de diversidade na América do Sul, mais precisamente na região Andina, incluindo áreas da Bolívia, Chile, Equador, Peru e Ilha de Galápagos. Entretanto, a domesticação desta hortaliça provavelmente ocorreu no México.

A incidência de patógenos na cultura do tomateiro acarreta grandes prejuízos aos produtores e consumidores, tendo em vista que os esforços para amenizar os prejuízos causados pelo ataque de pragas e doenças aumentam os custos de produção, e conseqüentemente o valor comercial do produto. Além disso, o uso intensivo de produtos fitossanitários na cultura, sem o devido cuidado, pode comprometer a segurança alimentar do consumidor.

A adoção de tecnologias e estratégias no manejo de pragas e doenças que reduzam o impacto ambiental e melhorem a sanidade, simultaneamente com reduções na utilização de produtos fitossanitários tem sido buscada por profissionais ligados a tomaticultura em todo o mundo. Afinal, já foram descritas cerca de duzentas doenças e distúrbios de ordem fisiológica que afetam cultivos de tomateiro, causando reduções na produtividade e na qualidade dos frutos (Lopes & Ávila, 2005; Lopes & Reis, 2011).

A murcha de fusário é uma das doenças mais importantes no tomateiro, pois além de ser altamente destrutiva é de ocorrência cosmopolita. Esta doença é causada pelo fungo habitante do solo *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen (*FOL*) e é favorecida por temperaturas elevadas, solos ácidos e/ou arenosos. Esse patógeno penetra nas raízes através de ferimentos, coloniza os tecidos e atinge os vasos do xilema, onde se multiplica e prejudica a translocação de água e nutrientes até as folhas. O resultado da infecção é refletido nos sintomas de murcha e amarelecimento das folhas, iniciando pelas mais velhas e progredindo para as mais jovens, podendo levar a morte da planta (Kuramae & Souza, 2002).

Outro sintoma evidente da infecção por este patógeno pode ser visto ao realizar um corte transversal do caule de uma planta doente, sendo possível observar o escurecimento do sistema vascular, que é característico e pode auxiliar na diagnose. O escurecimento ocorre devido à oxidação e polimerização de hidroxifenóis, ação de enzimas oxidases e toxinas produzidas pelo fungo. A principal toxina é o ácido fusárico que causa aumento na permeabilidade das membranas celulares e resulta em alterações no equilíbrio iônico e perda de eletrólitos pelas células (Tamari & Kaji, 1954; Nelson,

1981). Este é um fungo de solo de difícil manejo, pois forma estruturas de resistências, chamadas clamidósporos, que podem permanecer viáveis no solo e inviabilizar o cultivo na área infestada (Reis & Lopes, 2007).

As raças 1 e 2 estão na maioria das regiões produtoras de tomate em todos os continentes (Tokeshi & Galli, 1966; Stravato et al., 1999). A raça 3 do fungo ainda tem distribuição limitada. Ela é encontrada nos Estados Unidos (Volin & Jones, 1982; Davis et al., 1988; Cai et al., 2003), Austrália (Grattidge & O'Brien, 1982), África do Sul (Jacobs et al., 2013), Brasil (Reis et al., 2005; Reis & Boiteux, 2007), Nova Zelândia, Reino Unido, Venezuela e México (Valenzuela-Ureta et al., 1996). No Brasil, a raça 3 foi descrita primeiramente afetando cultivos comerciais no Espírito Santo (Reis et al., 2005) e, posteriormente, no Rio de Janeiro (Reis & Boiteux, 2007). Recentemente, isolados da raça 3 também foram identificados nos estados da Bahia (Barboza et al., 2013) e em Minas Gerais (Gonçalves, 2015).

A grande diversidade genética existente no gênero *Solanum* é conservada em coleções de germoplasma mantidas em todo o mundo. Uma das coleções de referência é o Tomato Genetic Resource Center – TGRC (Centro de Recursos Genéticos do Tomate), localizado na Universidade da Califórnia, em Davis-EUA. Nele encontram-se milhares de acessos de tomate oriundos das mais diversas partes do mundo e contém grande diversidade de fontes de resistência às mais diversas enfermidades associadas ao tomateiro. No TGRC existe cinco acessos de *Solanum lycopersicum* que contém o gene *I-3*. Estes acessos apresentam grande potencial para o melhoramento genético e obtenção de materiais resistentes a esta doença (TGRC, 2018).

Desta forma, utilizar germoplasma de tomateiro que contenham genes de interesse já descritos como genitores pode ser uma boa estratégia para se obter híbridos resistentes à *FOL* e reduzir o tempo gasto para se atingir este objetivo. Uma opção para o emprego dos híbridos, que sejam resistentes a esta doença de solo, é a sua utilização como porta-enxertos, quando estes não apresentarem características agrônomicas e comerciais favoráveis.

O objetivo foi obter híbridos de tomateiro mediante o cruzamento de linhagens que contêm o gene *I-3* e uma cultivar comercial, e avaliá-los quanto à resistência às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. Além disso, realizar a caracterização dos híbridos, que venham a ser resistentes, para decidir sobre seu potencial de uso no manejo deste patógeno.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

2.4.1 Local de realização dos ensaios

A condução das plantas para realização dos cruzamentos, obtenção de sementes dos híbridos e o cultivo de materiais para a caracterização foram realizadas em casa de vegetação na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão (UEPE) Horta Velha, que pertence ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (20°45'29"S, 42°50'46"O e 685 metros de altitude). O teste de suscetibilidade dos híbridos resultantes às raças de *FOL* foi realizado no laboratório de Bioquímica e Fitopatologia e em casa de vegetação, localizados no campo de pesquisa do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba, Rio Paranaíba-MG (19°12'50"S, 46°14'58"O e 1138 metros de altitude).

2.4.2 Material vegetal e isolados fúngicos utilizados

Para a obtenção dos híbridos de tomateiro foram utilizadas como genitores masculinos as linhagens LA4025, LA4026, LA4065, LA4066 e LA4067. Estas linhagens, da espécie *Solanum lycopersicum*, são resultados de linhagens de introgressão de *Solanum pennellii* (LA716) em *S. lycopersicum* (cv. M82), isto é, linhagens de *S. pennellii* silvestres, que possuem o gene *I-3* de resistência a raça 3 de *FOL* foram cruzados com a cv. M82 (*Solanum lycopersicum*) resultando em background genético de linhagens contendo o gene *I-3*. Estes acessos foram selecionados, desenvolvidos e cedidos pelo Centro de Recursos Genéticos de Tomate (Tomato Genetic Resource Center – TGRC) da Universidade da Califórnia, Davis-EUA. Como genitor feminino, foi utilizado uma cultivar comercial de tomateiro (não divulgado) que possui um pacote básico de resistência às principais doenças de solo no Brasil, que inclui resistência às raças 1 e 2 de *FOL*, a *Verticillium dahliae* e tolerância a nematoides do gênero *Meloidogyne*.

Os isolados das diferentes raças de *FOL* utilizadas no ensaio de resistência foram cedidos pela Embrapa Hortaliças, Brasília-DF. A concessão dos isolados foi feita por meio de um Termo de Transferência de Material (TTM) e publicada no Diário Oficial da União, nº 39, seção 3, página 5, de 29 de fevereiro de 2016. O material foi disponibilizado na forma de frascos tipo eppendorf contendo fragmentos de meio de cultivo sólido com micélio do fungo. Os isolados FUS-027 (raça 1), FUS-023 (raça 2) e FUS-374 (raça 3) foram utilizados no ensaio de resistência.

2.4.3 Cruzamentos e obtenção dos híbridos

As sementes das linhagens cedidas pelo TGRC (LA4025, LA4026, LA4065, LA4066, LA4067), juntamente com as sementes da cultivar comercial, foram semeadas em bandejas de isopor de 128 células (duas sementes por célula) contendo substrato de plantio Carolina Soil® e regadas diariamente até completarem 28 dias. As mudas foram transplantadas para vasos plásticos de 10 litros, contendo mistura de solo, areia e esterco bovino curtido (3:1:1; v:v:v) e cultivadas em casa de vegetação.

Foram conduzidas sete plantas de cada genitor masculino (LA4025, LA4026, LA4065, LA4066, LA4067) e dezesseis plantas do genitor feminino (cultivar comercial). Após o transplante, os vasos foram dispostos aleatoriamente em bancadas dotadas com sistema de irrigação por gotejamento e irrigadas duas vezes ao dia.

Os cruzamentos foram iniciados cerca de dois a três dias antes da abertura das flores do segundo cacho. Para isto, os botões florais do genitor feminino foram emasculados (retirada das anteras) com auxílio de pinças. Após a emasculação das flores, foi realizada a deposição do pólen de um dos genitores masculinos. As flores polinizadas artificialmente foram identificadas com etiqueta de papel contendo os códigos do genitor feminino, genitor masculino e a data da hibridação, sempre nesta ordem. Após a polinização artificial, as flores foram envolvidas por um saquinho de papel manteiga por 48 horas, afim de evitar possíveis contaminações de pólenes. Este procedimento de hibridação foi realizado a cada dois dias até a emissão do oitavo cacho floral.

Os frutos oriundos da hibridação foram colhidos ao atingirem coloração vermelha intensa. Após a colheita, os frutos foram identificados e as sementes separadas da polpa. As sementes, ainda envoltas pela massa gelatinosa, foram colocadas em recipientes identificados e deixadas em temperatura ambiente por 72 horas. Com este procedimento, a massa gelatinosa se desprende das sementes, tornando possível sua separação através de uma lavagem em água corrente. As sementes foram então colocadas em bandejas com papel toalha e deixadas secar em temperatura ambiente por 72 a 96 horas. Os lotes de sementes foram cuidadosamente identificados e armazenados em câmara fria (3-4°C).

Ao final desta etapa, foram obtidas sementes de cinco diferentes híbridos, com aproximadamente 400 sementes de cada. Os híbridos resultantes foram codificados como FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 e FOX5, sendo a denominação “FOX” oriunda das iniciais do patógeno *Fusarium oxysporum*, para facilitar a identificação dos materiais.

2.4.4 *Multiplicação dos isolados de FOL*

Foram obtidas culturas puras dos isolados FUS-027 (raça 1), FUS-023 (raça 2) e FUS-374 (raça 3) através da transferência dos fragmentos de meio de cultivo, com micélios do fungo, para placas de Petri de 90 mm contendo meio de cultivo sólido batata-dextrose-ágar (meio BDA – Potato Dextrose Agar ‘Himedia®’ – 39 gramas do reagente diluído em 1000 mL de água destilada, autoclavados por 20 minutos a 1,0 kgf/cm² de pressão e à temperatura de 120°C) e mantidos em BOD por 15 dias a 25 ±1°C. Após a obtenção da cultura pura dos respectivos isolados, eles foram multiplicados seguindo o mesmo procedimento.

Para a montagem do ensaio, os isolados foram cultivados em meio de cultura líquido Batata-Dextrose (meio BDL). Para cada litro de meio BDL foram utilizados 400 gramas de batatas (tipo inglesa) descascadas e picadas em fragmentos de aproximadamente 2 cm³, colocadas em um frasco tipo Erlenmeyer com adição de água para o seu cozimento em autoclave por 30 minutos a 1,0 kgf/cm² de pressão e temperatura de 120°C. Após o cozimento, a solução resultante foi filtrada em gaze dupla e adicionado 20 gramas de Dextrose. A solução foi então colocada novamente em um Erlenmeyer e o volume completado até 1 L com água.

Foram preparados quatro litros de meio BDL, um litro para cada isolado e um litro no qual não foi adicionado isolado. Após seu preparo, o meio foi colocado em autoclave por 30 minutos a 1,0 kgf/cm² de pressão e a temperatura de 120°C.

Em condições assépticas de câmara de fluxo laminar, cada litro do meio de cultura BDL foi subdividido em cinco alíquotas iguais de 200 mL e distribuídas em frascos Erlenmeyer com capacidade volumétrica de 250 mL. Em seguida, a inoculação dos isolados foi realizada transferindo fragmentos do meio de cultura sólido (BDA) para meio BDL contendo os diferentes isolados. Os frascos foram mantidos em incubadora a 25°C e em agitação orbital a 150 rpm por 14 dias.

A suspensão de esporos em meio líquido foi calibrada para 1 x 10⁶ esporos mL⁻¹ através da contagem em câmara de Neubauer, sendo adicionada água destilada estéril para diluição quando necessário.

2.4.5 *Seleção dos híbridos resistentes*

Além dos híbridos (FOX1, FOX2, FOX3, FOX4 e FOX5), foi utilizado a cultivar Ponderosa, que é suscetível às três raças do patógeno e usada como padrão de

suscetibilidade. O ensaio consistiu no cultivo destes materiais infectados, ou não, pelas diferentes raças de *FOL*.

As sementes dos híbridos e da cultivar Ponderosa foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 128 células (duas sementes por célula) contendo substrato de plantio PlantMax[®] e regadas diariamente até 21 dias.

Para a montagem do ensaio, as mudas dos diferentes genótipos de tomateiro foram retiradas das células da bandeja e as raízes lavadas em água corrente para retirar os fragmentos de substrato aderidos. Após a lavagem foi feito um corte de aproximadamente 2 cm da porção apical das raízes. Este procedimento foi realizado com o intuito de causar ferimentos nas raízes e facilitar a infecção do fungo. Em seguida, as raízes das mudas foram mergulhadas na suspensão de esporos (1×10^6 esporos mL^{-1}) das respectivas raças do fungo e imediatamente transplantadas para os vasos. Como substrato de plantio foi utilizada uma mistura de solo e areia (1:1, v:v) previamente autoclavado por 60 minutos a $1,0 \text{ kgf/cm}^2$ de pressão e temperatura de 120°C .

Os tratamentos consistiram na combinação de cada um dos seis materiais (FOX1, FOX2, FOX3, FOX4, FOX5 e a cultivar Ponderosa) com a inoculação de cada uma das três raças do patógeno (1, 2 e 3), a mistura das três raças, e na ausência do fungo, totalizando 30 tratamentos. Foram utilizadas seis repetições, gerando 180 parcelas. Cada parcela foi constituída por um vaso contendo uma planta de tomateiro com substrato infestado (ou não) com esporos das diferentes raças do fungo.

Após 21 dias da montagem do ensaio, a avaliação da severidade da doença foi realizada com base em escala de notas, onde as plantas receberam nota com base na presença e intensidade dos sintomas característicos da infecção por *Fusarium* sp., proposta por Santos (1997). Sendo: 1 = plantas sem sintomas; 2 = plantas sem sintomas de murcha ou amarelecimento, mas com escurecimento vascular; 3 = plantas com escurecimento vascular intenso e com murcha ou amarelecimento foliar; 4 = plantas com murchas intensas, associadas com amarelecimento e necrose foliar; 5 = plantas mortas.

Os sintomas de murcha e amarelecimento foliar foram realizados por meio da visualização e presença na planta. Para a avaliação do sintoma de escurecimento vascular, foram realizados cortes e raspagens (lâmina cortante de canivete) superficiais no caule da planta, iniciando na região do coleto e prolongando até a inserção da primeira folha.

A categorização dos níveis de resistência dos híbridos foi feita de acordo com Reis et al. (2004). As categorias de resistência em função da nota média atribuída foram: Resposta Imune (I), nota média = 1; Alta Resistência (AR), nota média entre 1,01 e 2,00;

Resistência Intermediária (RI), nota média entre 2,01 e 3,00; Suscetibilidade (SU), nota média entre 3,01 e 4,00; e Alta Suscetibilidade (AS), nota média entre 4,01 e 5,00 (Reis et al., 2004).

2.4.6 Caracterização dos híbridos resistentes às três raças de FOL

Os híbridos resistentes às três raças de FOL foram cultivados para a caracterização, avaliação do desempenho produtivo e qualidade dos frutos. As plantas foram cultivadas em parcelas, contendo seis plantas de cada material, com cinco repetições, totalizando 30 plantas de cada híbrido. O cultivo foi realizado em casa de vegetação e as plantas foram tutoradas com duas hastes até 1,80 metros de altura, irrigadas e fertilizadas via sistema de irrigação por gotejamento superficial. O ciclo de cultivo foi de 156 dias (julho a dezembro de 2017). A colheita dos frutos ocorreu semanalmente, iniciando aos 87 dias após o transplântio (DAT) (12ª semana) e encerrando aos 156 DAT (22ª semana), totalizando 11 colheitas. Foram realizadas avaliações de crescimento e desenvolvimento quanto a altura de plantas e número de folhas (>10cm), entre os sete e os 77 DAT. A taxa de pegamento de frutos foi avaliada no 3º e 5º cachos da haste principal a partir da razão entre o número de flores emitidas e o número de frutos colhidos nos respectivos cachos.

Foram realizadas avaliações de trocas gasosas aos 30, 60 e 90 DAT com aparelho analisador de gases a infravermelho em sistema aberto (*Infra-red Gas Analyser-IRGA*), modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA). As medições foram realizadas em folhas previamente identificadas como a terceira folha expandida contada partir do ápice da haste principal, no período de 08:00 às 11:00 h, sob irradiância de 1000 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, condição padrão de CO_2 de 400 ppm e temperatura de 25°C. A média foi obtida a partir de cinco medições em uma planta escolhida aleatoriamente dentro da parcela útil.

As variáveis avaliadas foram a taxa de assimilação líquida de CO_2 (A – mol de CO_2 $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s – mol H_2O $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 (C_i – mmol $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (E – mmol H_2O $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), razão entre a concentrações de carbono interno e externo (C_i/C_a), eficiência instantânea do uso da água (EUA – μmol CO_2 mmol H_2O^{-1} ; $EUA=A/E$) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s – μmol CO_2 mol H_2O^{-1}).

Os frutos foram colhidos semanalmente e quantificados quanto ao número e peso. Além disso, cinco frutos de cada parcela eram retirados aleatoriamente para mensurações

de cor (L^* , a^* e b^* – colorímetro digital, Konica Minolta[®], modelo CR-10) e diâmetros longitudinal e transversal (DL e DT – paquímetro digital 150 mm, Jomarca[®], modelo 205509). Ao final das colheitas foi possível calcular os diâmetros médios longitudinal e transversal, a razão entre eles (DL/DT) e os parâmetros médios de cor (L^* , a^* , b^* , croma e o ângulo Hue) dos frutos.

Os valores de L^* indicam a luminosidade/brilho e variam de 0 a 100 (0-totalmente preto, 100-totalmente branco), a^* representa uma escala de tonalidade que vai do verde ($-a$) ao vermelho ($+a$) e o parâmetro b^* indica as variações de tonalidade do azul ($-b$) ao amarelo ($+b$). Já os índices colorimétricos Cromaticidade (croma) e o ângulo de cor Hue (em graus) foram calculados a partir das equações 1.1 e 1.2. Croma indica a saturação e pureza da cor, enquanto o ângulo Hue define a tonalidade da cor (0°-vermelho; 90°- amarelo; 180°-verde e 270°-azul). As medições foram realizadas na região equatorial do fruto sem a remoção do epicarpo. O colorímetro foi ajustado para o sistema de leitura L^* a^* b^* , e calibrado em uma placa branca padrão de cerâmica.

$$croma = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 1.1}$$

$$hue = \tan^{-1} \frac{a^*}{b^*} \quad \text{Equação 1.2}$$

As variáveis de produção avaliadas foram: o número médio de frutos por planta (NFP), número médio de frutos por cacho (NFC), produção de frutos por planta (PFP), massa média de frutos (MMF) e uma estimativa da produtividade (PROD). PFP e MMF foram avaliados em balança analítica (Shimadzu[®], modelo BL3200H).

Para as análises de qualidade dos frutos, foram retirados aleatoriamente cerca de 250 gramas de tomates de cada parcela a cada quinze dias. As variáveis avaliadas foram: a acidez total da polpa (pH), sólidos solúveis totais (SST), resistência à penetração (firmeza), acidez titulável (AT) e o sabor (SST/AT).

A resistência à penetração foi medida utilizando dinamômetro digital reversível (Force Gauge[®], modelo DD-200). As medições foram realizadas na região equatorial do fruto sem a retirada do epicarpo. O valor médio de cada parcela foi determinado pela leitura de três frutos e os resultados expressos em Newton (N).

Para as avaliações de pH, SST e AT, aproximadamente 150 gramas de frutos foram triturados em liquidificador por 30 segundos e a polpa resultante transferida para copos plásticos previamente identificados. As medições de acidez total (pH) foram realizadas utilizando peagâmetro de bancada (Digmed[®], modelo DM-22), introduzindo o bulbo do eletrodo diretamente na polpa (três leituras por parcela). Para as medições de

sólidos solúveis totais foi utilizado um refratômetro digital (Hanna[®], modelo HI-96801). Para isto, uma alíquota de aproximadamente 1 mL da polpa é colocada no aparelho e a leitura expressa em °Brix.

Para a quantificação da acidez titulável (AT), expressa em % de ácido cítrico, uma alíquota de aproximadamente cinco (5) gramas foi pesada em balança analítica e transferida para balões volumétricos de 100 mL e o volume completado com água destilada. Após este processo foram pipetados 10 mL da solução para Erlenmeyers, também de 100 mL, e adicionadas duas gotas de um indicador de pH (fenolftaleína 1%). A titulação foi feita com solução de NaOH a 0,005 mol L⁻¹. Este processo foi repetido duas vezes e a média entre os valores gastos foi usado para representar a média da parcela.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.5.1 Seleção de híbridos resistentes

Aos 21 dias após a inoculação das raízes foi possível observar visualmente comportamentos distintos dos materiais em função da exposição às diferentes raças do patógeno (Figura 1). Os sintomas característicos da infecção por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, que são murcha e amarelecimento das folhas, foram observados principalmente em plantas da cultivar Ponderosa (padrão de suscetibilidade), comprovando a virulência dos isolados. Foi possível observar que na ausência do fungo no substrato, o crescimento da planta não foi prejudicado (Figura 1-F, planta da direita), enquanto que, nas plantas infectadas pelas raças 2, 3 e mistura de raças o crescimento da planta foi reduzido (Figura 1-F). Quando expostas à raça 1, as plantas da cultivar Ponderosa tiveram seu crescimento pouco afetado (Figura 1-F, planta da esquerda), entretanto o sintoma de murcha das folhas foi observado, assim como para as demais raças.

Os híbridos FOX2 (Figura 1-B), FOX3 (Figura 1-C) e FOX5 (Figura 1-E) não apresentaram sintomas de infecção quando expostos à raça 1. Entretanto, para as raças 2, 3 e mistura de raças, estes híbridos apresentaram sintomas evidentes, com exceção de FOX5 para raça 2 (Figura 1-E).

Não foram observados visualmente os sintomas de murcha e amarelecimento de folhas pelas raças, ou mesmo mistura das raças, em plantas dos híbridos FOX1 e FOX4 (Figuras 1-A e 1-D, respectivamente). Ao comparar o crescimento das plantas sem a presença do fungo (vasos da direita) com aquelas expostas às diferentes raças, o crescimento das plantas não foi comprometido, não sendo possível identificar também

diferenças evidentes na coloração e/ou turgescência dos tecidos foliares (Figuras 1-A e 1-D).

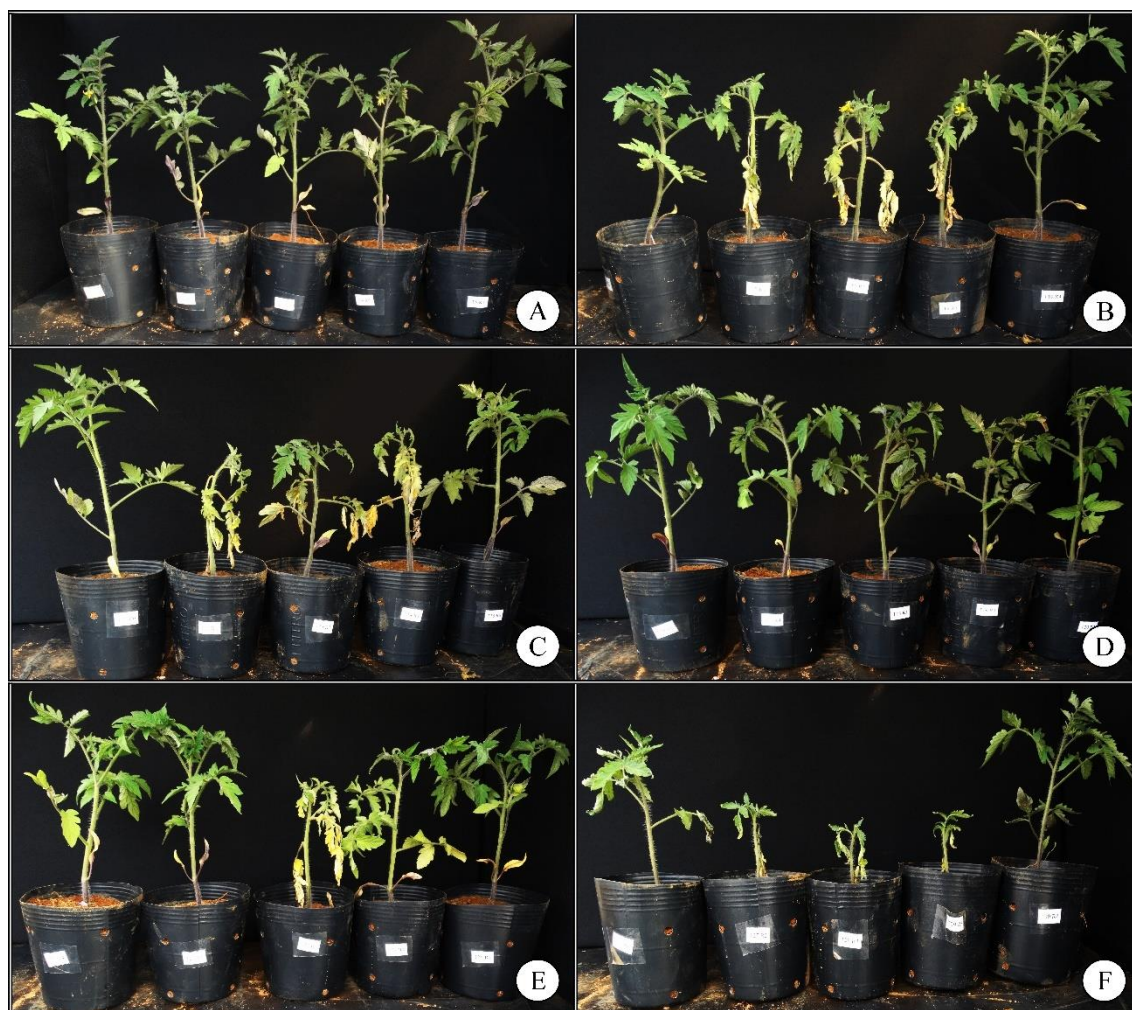


Figura 1. Plantas dos diferentes genótipos expostas aos isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. A: FOX1, B: FOX2, C: FOX3, D: FOX4, E: FOX5 e F: Cultivar Ponderosa. Vasos da esquerda para a direita: FUS-027 (raça 1), FUS-023 (raça 2), FUS-374 (raça 3), mistura das três raças e ausência do fungo.

A domesticação e o melhoramento do tomateiro possibilitaram atingir a adaptação ambiental às mais diversas regiões de cultivo com altas produtividades. Contudo, é provável que genes responsáveis por resistência a algumas pragas e patógenos, tenham desaparecido dos genótipos atuais durante o melhoramento. Por esta razão, a manutenção de bancos de germoplasma do tomateiro é fundamental, pois mantém viáveis acessos e linhagens silvestres que são fontes destes genes de resistência para programas de melhoramento (Reis & Boiteux, 2007; Long et al., 2013).

O manejo da murcha de fusário no tomateiro é dificultado pela formação de estruturas de sobrevivência desenvolvidas pelo fungo e pela falta de cultivares com resistência às três raças do patógeno. Os clamidósporos são formados a partir da transformação de hifas especializadas que geram paredes espessas e rugosas, permitindo a persistência do fungo em condições ambientais adversas, mesmo na ausência do hospedeiro (Leslie & Summerell, 2007).

O controle genético pode ser considerado o método mais desejável para o manejo de doenças de solo que acometem o tomateiro. Por isso, a incorporação de genes de resistência no desenvolvimento de híbridos e cultivares altamente produtivos tem sido buscada. Da mesma forma, o controle genético tem sido o mais eficiente no manejo da murcha de fusário no tomateiro (Reis et al., 2005), embora hajam poucos materiais resistentes à raça 3 disponíveis no mercado. Assim, a obtenção dos híbridos FOX1 e FOX4 representa mais uma alternativa com este propósito.

A avaliação dos sintomas de parte aérea juntamente com o escurecimento vascular causado por *FOL*, avaliado também aos 21 dias após a inoculação das raízes, confirmou a suscetibilidade e a resistência de alguns genótipos às diferentes raças do patógeno, em conformidade com o observado na Figura 1. Entretanto, tal avaliação é crucial para a categorização dos níveis de resistência.

A cultivar Ponderosa foi altamente suscetível (AS) à raça 3 e a mistura de raças, e também suscetível (SU) à raça 2, sendo que a nota média atribuída ficou no limite superior desta classe (4,00) (Tabela 1). Já em relação a raça 1, a cultivar Ponderosa não apresentou alta suscetibilidade. Foi possível observar que a reação dos diferentes materiais à raça 1 não atingiram a categoria de suscetibilidade (entre 3,01 e 4,00), obtendo os menores valores médios de notas (Tabela 1).

Os híbridos FOX2 e FOX3 foram suscetíveis às raças 2, 3 e à mistura de raças. Já FOX5, apresentou resistência intermediária (RI) à mistura de raças e foi suscetível apenas à raça 3 (Tabela 1). Assim, diante dos objetivos do trabalho, os híbridos FOX2, FOX3 e FOX5, não apresentam potencial no manejo das raças 2 e 3 de *FOL*.

Os híbridos que se destacaram quanto aos níveis de resistência às três raças de *FOL* e a mistura de raças foram FOX1 e FOX4 (Tabela 1). FOX1 foi altamente resistente à raça 3 e não apresentou sintoma (I) quando exposto à raça 1, raça 2 e à mistura de raças. Por sua vez, FOX4 foi altamente resistente (AR) às três raças e imune à mistura de raças (Figura 1 e Tabela 1).

Tabela 1. Reação de híbridos de tomateiro e da cultivar Ponderosa em relação as diferentes raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, mistura de raças e na ausência do fungo.

Isolados		Genótipos					
		Ponderosa	FOX1	FOX2	FOX3	FOX4	FOX5
FUS-027 (raça 1)	Média	2,33	1,00	1,33	1,33	1,20	1,33
	Reação	RI	I	AR	AR	AR	AR
FUS-023 (raça 2)	Média	4,00	1,00	2,66	2,66	1,20	1,16
	Reação	SU	I	SU	SU	AR	AR
FUS-374 (raça 3)	Média	4,66	1,33	3,83	3,50	1,60	3,50
	Reação	AS	AR	SU	SU	AR	SU
Mistura de raças	Média	4,33	1,00	2,50	3,33	1,00	2,16
	Reação	AS	I	SU	SU	I	RI
Ausência do fungo	Média	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	Reação	-	-	-	-	-	-

I = Resposta Imune; AR = Alta Resistência; RI = Resistência Intermediária; SU = Suscetibilidade; AS = Alta Suscetibilidade. Escala de notas de Santos (1997): 1 = plantas sem sintomas; 2 = plantas sem sintomas de murcha ou amarelecimento, mas com escurecimento vascular; 3 = plantas com escurecimento vascular intenso e com murcha ou amarelecimento foliar; 4 = plantas com murchas intensas, associadas com amarelecimento e necrose foliar; 5 = plantas mortas.

A expressão da resistência do tomateiro ao ataque *FOL* envolve ações de ativação de mecanismos de resistência pela detecção e reconhecimento genético e vigilância aos efetores do patógeno, em consequência a planta ativa respostas de defesa através de mecanismos bioquímicos para impedir a infecção (Gawehns et al., 2014).

Na Figura 2 é possível observar que os híbridos FOX1 e FOX4 tiveram um comportamento positivo frente à exposição as diferentes raças de *FOL*. Enquanto que, os demais materiais, atingiram notas médias elevadas, sobretudo frente à raça 3.

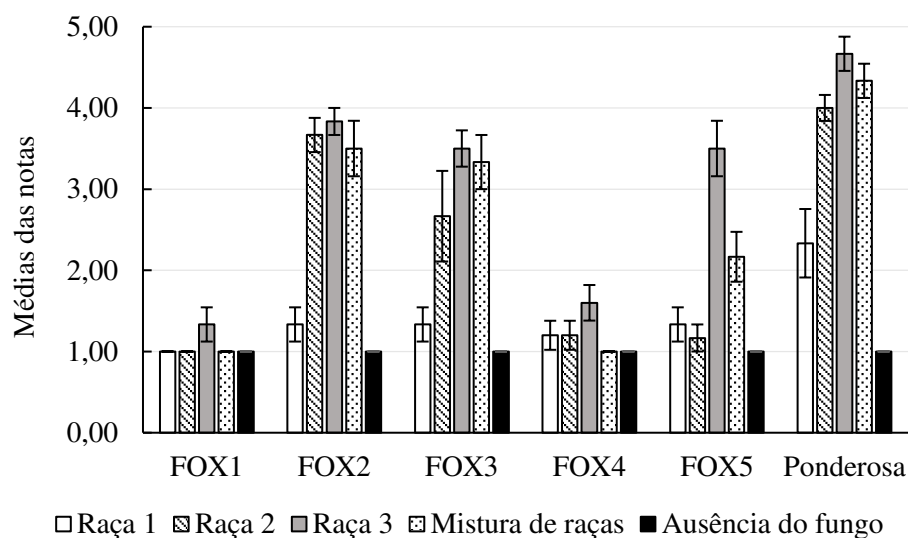


Figura 2. Nota média e desvio padrão da média, dos híbridos FOX1, FOX2, FOX3, FOX4, FOX5 e da cultivar Ponderosa de tomateiro, em relação às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, mistura das três raças e na ausência do fungo.

A metodologia de avaliação de suscetibilidade utilizada tem sido empregada com sucesso para verificar a resistência de genótipos de tomateiro a diferentes raças e isolados de *FOL*. Santos Júnior et al. (2009) avaliaram a resistência de híbridos experimentais de tomateiro a dois isolados de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* raça 3. Os autores constataram a resistência de 10 híbridos de tomateiro resistentes aos isolados permitindo que fossem destinados ao cultivo em áreas infestadas. Da mesma forma, Filho (2014) utilizou esta metodologia para testar a resistência de acessos silvestres, híbridos e linhagens quanto a resistência a isolados das três raças de *FOL* e identificou níveis de resistência distintos entre os materiais, comprovando posteriormente a presença dos genes via Reação em Cadeia da Polimerase (PCR). Diante disso, a avaliação de resistência às três raças de *FOL* empregada é qualificada para corroborar a potencialidade de utilização dos híbridos FOX1 e FOX4 no manejo da murcha de fusário.

2.5.2 Caracterização dos híbridos resistentes às três raças de *FOL*

A altura de plantas e o número de folhas foram semelhantes para FOX1 e FOX4 ao longo do período analisado (Figura 3-A e B). Os valores de parâmetros fotossintéticos aos 30, 60 e 90 DAT, que se mantiveram próximos entre FOX1 e FOX4 (Tabela 2), entretanto, algumas variáveis apontaram para desempenho produtivo e de qualidade de frutos insatisfatórios, quando comparados a produtividades acima de 120 t ha⁻¹

comumente observadas em ambiente protegido. A produtividade média de FOX1 e FOX4 foi em torno de 66 t ha⁻¹, que são valores baixos levando em consideração o tipo de cultivo e tecnologias empregadas. Além disso, a taxa de pegamento de frutos foi baixa, ficando próximo a 60% para FOX1 e chegando a menos de 50% para FOX4, no 3° cacho (Tabela 2). Os parâmetros de qualidade não foram discrepantes com aqueles de tomates de mesa comercializados, enquanto os valores de °Brix foram elevados com 7,19 e 6,49 para FOX1 e FOX4, respectivamente (Tabela 2). Entretanto, o tamanho e a massa média de frutos ficaram distantes dos tomates do seguimento salada.

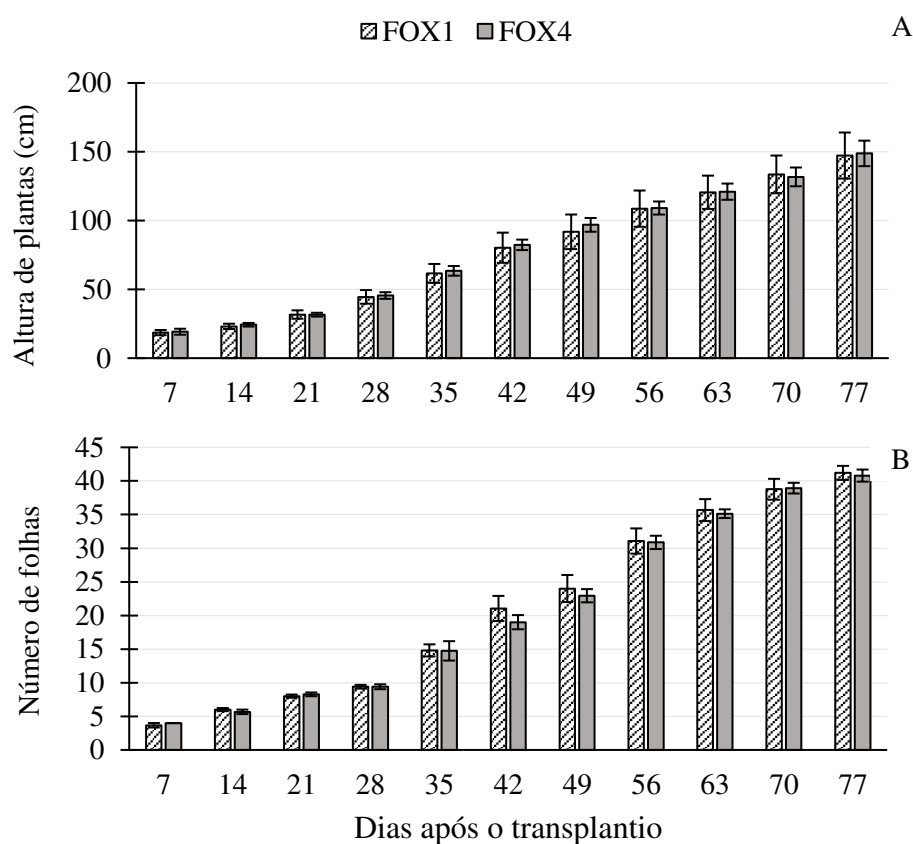


Figura 3. Altura de plantas (A) e número de folhas >10cm (B) de plantas de tomateiro, FOX1 e FOX4, dos 7 aos 77 dias após o transplante.

O cultivo e a caracterização dos híbridos FOX1 e FOX4 evidenciou que eles não apresentam características agrônômicas e comerciais que justifiquem o seu cultivo comercial. Muito embora, o fato de eles serem resistentes às três raças de *FOL* os credenciam como potenciais porta-enxertos visando o manejo deste patógeno. Contudo, são necessários estudos para identificar a compatibilidade de FOX1 e FOX4 com outros materiais.

Tabela 2. Caracterização dos híbridos FOX1 e FOX4 quanto as trocas gasosas aos 30, 60, e 90 DAT, parâmetros de produção e qualidade dos frutos.

Parâmetros de trocas gasosas	FOX1	FOX4
30 DAT		
<i>A</i> (mol de CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	19,69	24,84
<i>g_s</i> (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	0,60	0,41
<i>C_i</i> (mmol m ⁻² s ⁻¹)	286,81	272,83
<i>E</i> (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	5,65	6,07
<i>C_i/C_a</i>	0,74	0,71
<i>EUA</i> μmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹)	3,48	4,10
<i>A/g_s</i> (μmol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)	54,57	60,95
60 DAT		
<i>A</i> (mol de CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	12,13	11,00
<i>g_s</i> (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	0,24	0,21
<i>C_i</i> (mmol m ⁻² s ⁻¹)	286,50	292,28
<i>E</i> (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	3,90	3,67
<i>C_i/C_a</i>	0,73	0,74
<i>EUA</i> μmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹)	3,28	3,05
<i>A/g_s</i> (μmol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)	58,58	55,30
90 DAT		
<i>A</i> (mol de CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	10,40	12,35
<i>g_s</i> (mol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	0,20	0,20
<i>C_i</i> (mmol m ⁻² s ⁻¹)	264,28	263,85
<i>E</i> (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹)	5,19	5,48
<i>C_i/C_a</i>	0,67	0,67
<i>EUA</i> μmol CO ₂ mmol H ₂ O ⁻¹)	2,19	2,19
<i>A/g_s</i> (μmol CO ₂ mol H ₂ O ⁻¹)	68,32	62,32
Produção e qualidade de frutos		
Taxa de pegamento de frutos do 3° cacho (%)	60,80	45,60
Taxa de pegamento de frutos do 5° cacho (%)	60,40	52,00
DL (mm)	41,39	45,15
DT (mm)	37,43	46,46
DL/DT	1,11	0,97
NFP	136,00	91,00
NFC	9,00	6,10
MMF (g)	26,01	37,86
PFP (kg planta ⁻¹)	3,29	3,32
PROD (t ha ⁻¹)	65,90	66,42
<i>L</i> *	29,94	31,39
<i>a</i> *	26,22	27,62
<i>b</i> *	27,89	31,99
Croma	39,56	41,17

Hue	42,85	40,32
Firmeza (N)	22,16	23,62
Acidez total da polpa (pH)	4,08	4,16
SST (°Brix)	7,19	6,49
Acidez Titulável (% de ácido cítrico)	0,59	0,55
Sabor (SST/AT)	12,51	12,37

A – taxa de assimilação líquida de CO_2 ; g_s – condutância estomática; C_i – concentração interna de CO_2 ; E – taxa de transpiração foliar; C_i/C_a – razão entre as concentrações de carbono interno e externo; EUA – eficiência instantânea do uso da água; A/g_s – eficiência intrínseca do uso da água. Diâmetro longitudinal de fruto – DL (mm); diâmetro transversal de fruto – DT (mm); razão entre o diâmetro longitudinal e transversal – DL/DT; número de frutos por planta – NFP; número de frutos por cacho – NFC; massa média de frutos – MMF (g); produção de frutos por planta – PFP (kg planta^{-1}) e produtividade – PROD (t ha^{-1})

2.6 CONCLUSÃO

Os híbridos FOX1 e FOX4 obtidos mediante o cruzamento entre linhagens contendo o gene *I-3* e uma cultivar comercial, são resistentes às raças 1, 2 e 3 de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. No entanto, eles não apresentaram desempenho produtivo satisfatório e nem características desejáveis de frutos. Diante disso, FOX1 e FOX4 devem ser estudados quanto ao seu potencial de uso como porta-enxertos, visando o manejo da murcha de fusário no tomateiro.

3. CAPÍTULO II

ANÁLISE HORMONAL EM TOMATEIROS ENXERTADOS EM HÍBRIDOS RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO

3.1 RESUMO

Não há procedimentos capazes de prever com exatidão o resultado de uma enxertia, em razão da complexidade e quantidade de mecanismos envolvidos neste processo. Análises anatômicas, fisiológicas e bioquímicas têm sido realizadas com este propósito. Desta forma, o objetivo foi avaliar as concentrações de fitohormônios em diferentes períodos pós-enxertia como possibilidade para analisar a compatibilidade entre os porta-enxertos FOX1 e FOX4 e um enxerto de tomate cereja. Os tratamentos consistiram na combinação do híbrido de tomate cereja Sweet Heaven (SH) com os porta-enxertos FOX1 e FOX4 (FOX1/SH e FOX4/SH), autoenxertia de SH (SH/SH) e plantas pé-franco de SH. As avaliações das concentrações de fitohormônios foram realizadas em raízes e folhas 20 dias após a enxertia, e em folhas 70 dias após a enxertia. Os extratos dos tecidos foram injetados em espectrômetro de massas tipo triplo quadrupolo (QqQ) e, posteriormente, identificados por cromatografia líquida. Não foram detectadas concentrações expressivas de AIA (auxinas), giberelinas (GA3 e GA4) e ácido jasmônico. Os resultados indicaram alterações em alguns fitohormônios relacionados a estresses, provavelmente causados pela enxertia. Foram encontradas diferenças nas concentrações de ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano, precursor imediato do etileno) e zeatina (citocinina) aos 20 dias após a enxertia, que se estabilizaram na avaliação posterior. A enxertia reduziu a concentração do ácido salicílico (AS) nas folhas de plantas enxertadas aos 70 dias. A concentração de ácido abscísico (ABA) nas folhas aos 70 dias após a enxertia foi maior em plantas de FOX1/SH (40,97 ng g⁻¹) em comparação com a observada em SH pé-franco (10,89 ng g⁻¹), sugerindo algum grau de incompatibilidade entre SH e FOX1. Por sua vez, a concentração de ABA em FOX4/SH foi intermediária (26,06 ng g⁻¹), indicando maior compatibilidade. Realizar avaliações da concentração de fitohormônios em plantas enxertadas pode auxiliar na previsibilidade da compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto. Apesar disso, por se tratar de um procedimento ainda pouco explorado, é necessário o estudo da compatibilidade dos materiais em condições de cultivo para analisar a viabilidade de interpretações a partir deste tipo de análise.

Palavras-chave: compatibilidade, enxertia, estresse, fitohormônios.

HORMONAL ANALYSIS IN TOMATO GRAFTED IN HYBRIDS RESISTANT TO FUSARIUM WILT

3.2 ABSTRACT

There are no proceedings capable of accurately predicting the result of a grafting, due to the complexity and quantity of mechanisms involved in this process. Anatomical, physiological and biochemical analyzes have been performed for this purpose. Thus, the objective was to evaluate the concentrations of phytohormones in different post-grafting periods as a possibility to analyze the compatibility between rootstocks FOX1 and FOX4 and a scion of cherry tomatoes. The treatments consisted of the combination of Sweet Heaven (SH) cherry tomato hybrid with rootstocks FOX1 and FOX4 (FOX1/SH and FOX4/SH), SH self-grafted (SH/SH) and non-grafted plants of SH. Evaluations of phytohormone concentrations were performed 20 days after grafting on roots and leaves, and 70 days after grafting on leaves. The tissue extracts were injected in a triple quadrupole mass spectrometer (QqQ) and subsequently identified by liquid chromatography. No expressive concentrations of AIA (auxins), gibberellins (GA3 and GA4) and jasmonic acid were detected. The results indicated alterations in some stress-related phytohormones, probably caused by grafting. Differences in the concentrations of ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, the immediate precursor of ethylene) and zeatin (cytokinin) were found at 20 days post-grafting, which stabilized on subsequent evaluation. Grafting reduced the concentration of salicylic acid (AS) in leaves of grafted plants at 70 days. The concentration of abscisic acid (ABA) in the leaves at 70 days after grafting was higher in FOX1/SH plants (40.97 ng g⁻¹) compared to that observed in ungrafted SH (10,89 ng g⁻¹), suggesting some degree of incompatibility between SH and FOX1. While the concentration of ABA in FOX4/SH was intermediate (26.06 ng g⁻¹), indicating a greater compatibility. Carrying out evaluations of the concentration of phytohormones in grafted plants may assist predict the compatibility between scion and rootstock. However, because it is still an unexplored procedure, it is necessary to study the compatibility of the materials under cultivation conditions to analyze the feasibility of interpretations from this type of analysis.

Key-words: compatibility, grafting, phytohormones, stress.

3.3 INTRODUÇÃO

A enxertia é um método de propagação vegetativa de plantas que consiste na união de partes de duas ou mais plantas, formando um único indivíduo (Hartmann et al., 2011). A aplicação deste método em espécies olerícolas pode ser considerada recente, sendo os primeiros registros associados ao cultivo da melancia (*Citrullus lanatus* Thumb.) enxertada no início do século XX no Japão (Peil, 2003). Desde então, a enxertia em olerícolas tem se expandido por todo o mundo. No Brasil, o primeiro relato deste método é por volta de 1950 na região de Tomé Açú-PA, onde imigrantes japoneses utilizaram a enxertia para controlar a murcha bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum* (Smith)(Yabuuchi et al., 1995), em tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), utilizando como porta-enxerto plantas de jurubeba (*Solanum stramonifolium* Jacq.) (Galli et al., 1980).

A enxertia tem sido empregada com sucesso em hortaliças apenas em espécies das famílias Solanaceae e Cucurbitaceae pela similaridade morfo-fisiológica que possibilita o êxito da técnica (Peil, 2003). Busca-se através da enxertia reunir em uma só planta as características agrônômicas de interesse dos genótipos utilizados, permitindo que ela se desenvolva mesmo em condições adversas ao cultivo. Os principais objetivos da enxertia têm sido a busca de resistências a pragas e patógenos de solo, tolerância aos estresses hídricos e salinos, possibilidade de cultivo em temperaturas desfavoráveis, aumento da produtividade e melhoria na qualidade dos frutos (Schwarz et al., 2010; Riga, 2015; Kunwar et al., 2015; Kumar et al., 2017; Kyriacou et al., 2017).

A união dos biontes (enxerto e porta-enxerto) está relacionada com a capacidade de regeneração dos tecidos afetados e formação de novos tecidos funcionais. Primeiramente, é necessário que haja íntimo contato entre as regiões cambiais do porta-enxerto e do enxerto durante a enxertia. Para isso, é fundamental que hajam semelhanças nos diâmetros dos caules e dos vasos condutores, que devem também estar em número aproximado nos tecidos (Peil, 2003). Este contato possibilita que as células formadas pelo câmbio vascular dos biontes se misturem e se entrelacem, resultando em um calo de natureza parenquimatosa na zona de união. Etapas posteriores do processo morfogênico resultam na formação de câmbio vascular na zona de união, o qual vai se conectar ao câmbio vascular dos biontes, formando novos tecidos xilemáticos e floemáticos. O alinhamento das células permite que o novo xilema se conecte ao xilema do enxerto e do porta-enxerto, o mesmo ocorrendo em relação ao novo floema. A união de novos tecidos

funcionais constitui fator essencial para o êxito da enxertia (Hartmann et al., 2011; Pina et al., 2012).

Além dos aspectos anatômicos, outros fatores também são importantes para o êxito da enxertia, visto que, o pegamento da enxertia não é garantia de desenvolvimento satisfatório. Embora não haja procedimento capaz de antever com precisão o resultado de uma enxertia, a probabilidade de êxito aumenta à medida que a afinidade botânica entre as espécies é maior (Peil, 2003). A compatibilidade é definida como a capacidade de partes de duas ou mais plantas, formarem uma união bem sucedida e conviverem satisfatoriamente como uma única planta (González, 1999; Hartmann et al., 2011).

Na enxertia, a compatibilidade entre espécies da família Solanaceae é variável. Por exemplo, o tomateiro cultivado é comercialmente enxertado em porta-enxertos da mesma espécie, *Solanum lycopersicum*, embora apresente boa compatibilidade com outras espécies dentro da família. Já o pimentão (*Capsicum annuum* L.) é compatível apenas com plantas do mesmo gênero (Peil, 2003). Desta forma, é notória a necessidade de estudos prévios para identificar a compatibilidade entre os genótipos que se pretende realizar a enxertia.

Em casos de incompatibilidade, as plantas enxertadas podem apresentar sintomas visíveis ou não, a depender do nível de estresse causado pela não compatibilidade entre os materiais. Os principais sintomas associados a incompatibilidade na enxertia são: o desenvolvimento anormal da planta (em decorrência de diferenças anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e moleculares ainda pouco conhecidas), crescimento vegetativo prejudicado, reduções na produtividade e qualidade de frutos, e em casos mais sérios, a morte da planta (Pereira et al., 2014).

Segundo Pereira et al. (2014) a incompatibilidade na enxertia é um fenômeno complexo de difícil estudo, pois envolve inúmeras formas de interação entre enxerto e porta-enxerto. Ainda segundo os autores, a complexidade do tema desencadeou nos últimos anos, estudos que abordaram mecanismos de forma isolada. No entanto, com o advento de novas tecnologias é necessário buscar a compreensão de possíveis interações entre os mecanismos envolvidos na incompatibilidade, o que possibilitaria reduções de custo e tempo para o desenvolvimento de novas combinações na enxertia.

As principais linhas de pesquisas relacionadas ao estudo dos mecanismos pelos quais a incompatibilidade se manifesta, tratam dos aspectos anatômicos, fisiológicos e bioquímicos da interação entre enxerto e porta-enxerto. Estão entre as investigações referentes a este tema o reconhecimento celular via plasmodesmas (Pina & Errea, 2005)

síntese e translocação de fitohormônios (Aloni et al., 2010; Martínez-Ballesta et al., 2010), metabolismo de compostos fenólicos (Pina et al., 2012), glicosídeos cianogênicos (Pereira, 2012) e reconhecimento genético (Zhang et al., 2016).

Os fitohormônios são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e são responsáveis por modular as respostas da planta em relação aos estresses bióticos e abióticos aos quais são expostas durante seu ciclo. Contudo, as investigações acerca de seus papéis na técnica da enxertia ainda apresentam lacunas no conhecimento (Nanda & Melnyk, 2018).

A enxertia é um processo capaz de causar estresses na planta de forma visível e imediata pelo corte de tecidos e pela cicatrização do ponto de união. Mas também pode estar relacionada com estresses não perceptíveis durante o período de aclimatização das mudas e do desenvolvimento da planta. Desta forma, estudar como a enxertia pode afetar a síntese de fitohormônios em plantas enxertadas é importante para avaliar a compatibilidade entre os materiais. Visto que, esta análise pode auxiliar na identificação de estresses que poderão influenciar a planta posteriormente.

Um seguimento da tomaticultura que tem se destacado muito nos últimos anos é a produção de minitomates, especialmente os tomates cereja. Entretanto, a quantidade de cultivares deste seguimento ainda é incipiente frente a diversidade de problemas fitossanitários que acometem a cultura do tomateiro. Por exemplo, não existem até o momento cultivares de tomateiro do grupo cereja que apresentem resistência às três raças de *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen (*FOL*), que é uma doença de solo altamente destrutiva que ainda está restrita em algumas áreas do Brasil e com risco iminente de disseminação. Uma alternativa para o cultivo do tomateiro cereja em áreas com problemas fitossanitários deste tipo é a adoção da enxertia. Neste ponto, a avaliação da compatibilidade entre potenciais porta-enxertos resistentes à *FOL* pode ser determinante para a recomendação da técnica.

Desta forma, o objetivo foi avaliar as concentrações de fitohormônios em diferentes períodos pós-enxertia como possibilidade para analisar a compatibilidade entre os porta-enxertos FOX1 e FOX4 e um enxerto de tomateiro do grupo cereja.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Material vegetal utilizado

Os híbridos de tomateiro FOX1 e FOX4, ambos resistentes às três raças de *FOL*, foram utilizados como porta-enxertos do híbrido de tomateiro cereja Sweet Heaven (SH), da empresa Sakata Seed Sudamerica[®]. Os tratamentos consistiram na enxertia de SH sobre os híbridos resistentes à *FOL* (FOX1/SH, FOX4/SH), autoenxertia da variedade copa (SH/SH) e plantas de SH em pé-franco.

3.4.2 Local do ensaio e obtenção de mudas enxertadas

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE) Horta Velha da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (20°45'29"S, 42°50'46"O e 685 metros de altitude).

Foram realizadas avaliações em mudas antes do transplântio, aos 20 dias após a enxertia, nas quais foram amostradas o sistema radicular e a segunda folha expandida. Posteriormente, foram realizadas avaliações em folhas de plantas de tomateiro aos 70 dias após a enxertia (55 dias após o transplântio).

O semeio foi feito em bandejas de polietileno de 50 células (5x10) contendo substrato de plantio Carolina Soil[®]. Foram semeadas duas sementes por célula e em seguida as bandejas foram acondicionadas em câmara escura por 72 horas para estimular a germinação. Após este período as bandejas foram transferidas para casa de vegetação (20,0 x 6,0 metros) e irrigadas duas vezes por dia via sistema de irrigação por aspersão.

Aos trinta (30) dias após o semeio foram realizadas as enxertias combinando os diferentes porta-enxertos (tratamentos). O tipo de enxertia utilizado foi a garfagem de topo à inglesa simples.

Realizadas as enxertias, as plantas foram levadas para uma câmara de crescimento com umidade relativa acima de 90% e na ausência de luz, permanecendo nestas condições por quatro (4) dias. Passado este período, as plantas foram colocadas, gradativamente por períodos maiores, em casa de vegetação sob incidência de luz solar e temperatura ambientes para a aclimatização, até ficarem durante todo o dia em condições plenas de turgidez (aclimatizadas), o que ocorreu aos 15 dias após o procedimento da enxertia.

3.4.3 *Condução e amostragem em mudas antes do transplântio*

As mudas foram conduzidas diretamente nas bandejas de polietileno, dispostas em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas.

As regiões amostradas foram as raízes e a segunda folha expandida contada a partir do ápice. A amostragem foi realizada retirando a muda da célula da bandeja e realizando corte (lâmina de aço) transversal separando a muda em duas partes (parte aérea e sistema radicular). Em seguida, a segunda folha contada a partir do ápice era cortada e o sistema radicular lavado rapidamente em água corrente para a retirada do substrato aderido. Imediatamente após o corte da segunda folha, e da lavagem das raízes, as amostras foram acondicionadas em frascos tipo Falcon de 15 mL e colocados em recipiente contendo nitrogênio líquido (-196°C).

3.4.4 *Condução e amostragem em plantas*

Foi realizada amostragem de solo na casa de vegetação antes do transplântio das mudas, para caracterização química e física do solo. Posteriormente, foi realizada a correção e adubação do solo, seguindo as recomendações descritas por Ribeiro et al. (1999). O transplântio das mudas, diretamente para o solo da casa de vegetação, foi realizado após verificada a plena aclimatização. As mudas foram transplântadas seguindo o espaçamento de 1,0 x 0,5 metros (entrelinhas x entre plantas) e as parcelas dispostas em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela constituída por seis plantas, sendo considerada como parcela útil as quatro plantas centrais.

O manejo da irrigação foi feito com base em dados meteorológicos (radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) obtidos por meio de estação meteorológica automática (modelo E5000 – Irriplus[®]) instalada dentro da casa de vegetação. O manejo hídrico foi gerenciado pelo software IRRIPLUS (2008) que apresenta em tempo real o balanço hídrico, resultante da integração das características do solo, água disponível, estágio fenológico da planta e o clima, gerando as necessidades hídricas da cultura (lâmina de irrigação). O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento superficial.

A coleta de amostras de folhas para análise de fitohormônios foi realizada aos 70 dias após a enxertia. Neste estágio, as plantas de tomate apresentavam vigoroso crescimento vegetativo e reprodutivo (cachos, frutos e flores).

Para a coleta do material, foram previamente marcados os folíolos centrais da terceira folha expandida, contada a partir do ápice da haste principal. Os folíolos foram cortados com auxílio de uma lâmina de aço e colocadas em tubos tipo Falcon de 15 mL e, em seguida, colocados em recipiente contendo nitrogênio líquido (-196°C).

3.4.5 Avaliações de fitohormônios

Os hormônios foram extraídos das folhas e raízes, seguindo-se a metodologia descrita por Müller & Munné-Bosch (2011) com modificações. Cerca de 110 mg de tecido fresco foi macerado em nitrogênio líquido seguido da adição de 300 µL de solução extratora (metanol:isopropanol:ácido acético 20:79:1). As amostras foram agitadas em vortex (4 vezes por 20 segundos), sonicadas por 5 min e mantidas no gelo por 30 minutos. Após centrifugação (13.000 g, 10 min a 4°C), 250 µL do sobrenadante foi coletado para novo tubo. Ao pellet resultante, repetiu-se o processo de extração e, em seguida, juntou-se os sobrenadantes. Uma última centrifugação (20.000g, 5 min a 4°C) foi realizada para remoção de restos de tecido em suspensão.

O extrato obtido foi automaticamente injetado (5 µL) no sistema LC-MS/MS utilizando o equipamento modelo Agilent 1200 Infinity Series acoplado ao espectrômetro de massas tipo triplo quadrupolo (QqQ), modelo 6430 Agilent Technologies®. A separação cromatográfica foi realizada utilizando-se a coluna Zorbax Eclipse Plus C18 (1,8 µm, 2,1 x 50 mm, Agilent) em série com uma coluna guarda Zorbax SB-C18, 1,8 µm. A fase móvel consistiu em: (A) ácido acético 0,02% em água e (B) ácido acético 0,02% em acetonitrila em um gradiente de tempo/% B de: 0/5; 11/60; 13/95; 17/95; 19/5; 20/5. Foi utilizado fluxo de 0,3 mL/minuto e temperatura da coluna de 23°C.

No espectrômetro de massas foi utilizada a fonte de ionização ESI (Electrospray Ionisation) com as seguintes condições: temperatura do gás de 300°C, fluxo de nitrogênio de 10 L min⁻¹, pressão do nebulizador de 35 psi e tensão capilar de 4.000 V.

O equipamento foi operado no modo MRM (multiple reaction monitoring) no qual monitorou-se as massas do íon precursor/fragmento estabelecidas mediante testes de fragmentação de cada molécula: citocinina (zeatina) (220/136), etileno via ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano (ACC) (102,1/56,2), ácido abscísico (ABA) (263/153), auxinas (ácido indolacético – AIA) (176/130), ácido salicílico (AS) (137/93), giberelinas GA3(345/142.9) e GA4(331/21), jasmonatos (JA) (209/59). Citocinina, AIA e ACC foram escaneados no modo positivo, enquanto ABA, AS, GA3, GA4 e JA no modo negativo. Uma curva de calibração (0.1ng a 200ng) utilizando os respectivos padrões de

cada hormônio foi feita para a obtenção da quantificação absoluta. Os dados gerados foram analisados no software “Skyline” para obtenção da área dos picos de cada hormônio nas amostras e os dados foram expressos em ng g^{-1} de tecido fresco.

Os resultados foram calculados e as médias dos tratamentos apresentadas na forma de gráficos contendo o desvio padrão das médias.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As avaliações de fitohormônios em plantas de tomateiro evidenciaram diferenças nas concentrações de ácido abscísico (ABA), ácido salicílico (AS), ACC (ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano, precursor imediato do etileno) e citocinina (zeatina), em raízes e folhas. Não foram detectadas concentrações expressivas de AIA (auxinas), giberelinas (GA3 e GA4) e ácido jasmônico, embora tenham sido monitorados durante a avaliação.

Baixas concentrações de ácidos abscísico e salicílico nas raízes foram detectadas em todos os tratamentos aos 20 dias após a enxertia, em comparação com aqueles obtidos em folhas aos 20 e 70 dias (Figuras 4-A e B, 5-A e B, 6-A e B).

Em folhas aos 20 dias após a enxertia, a concentração de ABA foi semelhante entre os tratamentos (Figura 5-A). Aos 70 dias, menores concentrações de ABA foram encontradas em folhas de plantas de SH pé-franco ($10,9 \text{ ng g}^{-1}$) e autoenxertadas, sendo maior em FOX1/SH ($41,9 \text{ ng g}^{-1}$) (Figura 6-A). Estes resultados indicam que em plantas transplantadas houve maior síntese de ABA nas folhas de plantas enxertadas, especialmente quando utilizado o híbrido FOX1 como porta-enxerto.

O ácido abscísico (ABA) ocorre em toda a planta, sua biossíntese ocorre nos cloroplastos e em outros plastídios. O transporte do ABA ocorre tanto via xilema como pelo floema, sendo mais abundante na seiva floemática. O ABA é comumente associado às respostas da planta ao estresse hídrico, seja por déficit ou excesso, mas este fitohormônio também desempenha funções quanto a estresses bióticos, maturação e germinação de sementes e regulação da abertura estomática (Finkelstein, 2013; Vishwakarma et al., 2017). Sendo estas características plausíveis para as baixas concentrações de ABA nas raízes e similaridade nas folhas aos 20 dias após a enxertia.

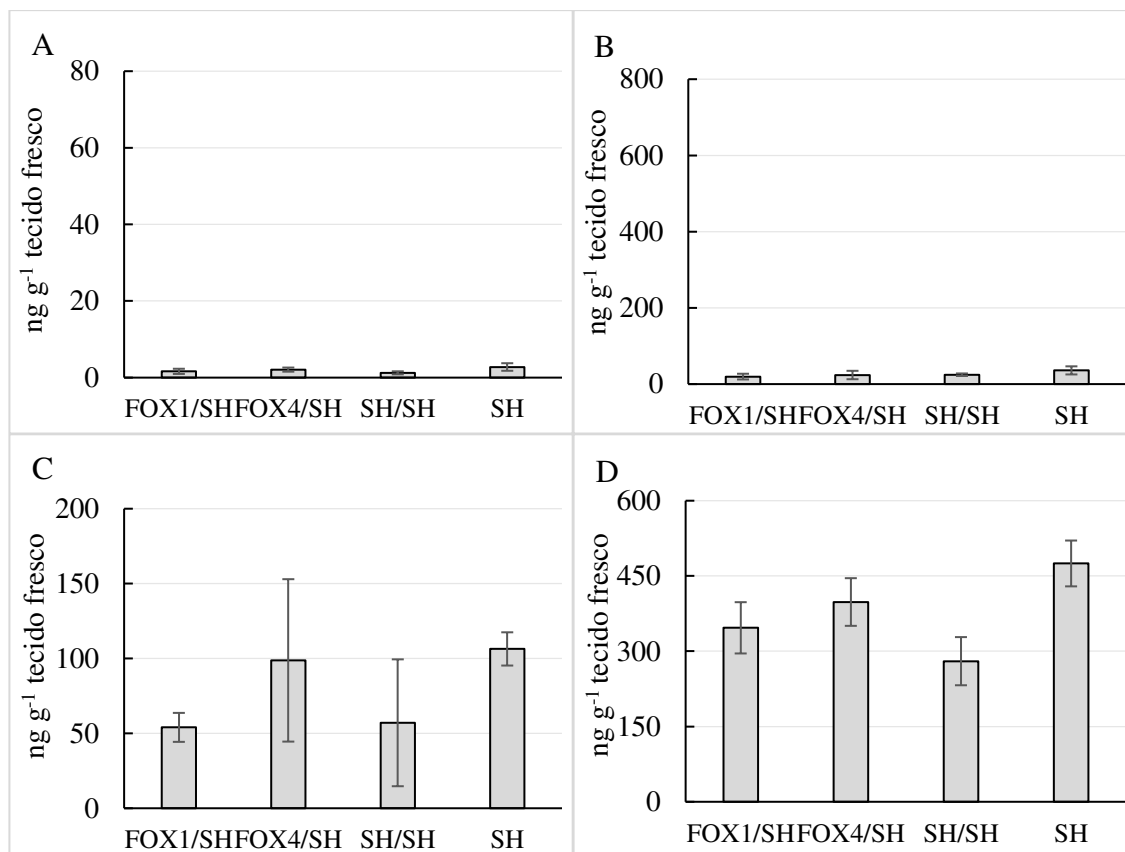


Figura 4. Concentrações de fitohormônios (ng g⁻¹ de tecido fresco) detectados em raízes de tomateiro, enxertado ou não enxertado, aos 20 dias após a enxertia (A – ácido abscísico; B - ácido salicílico; C – ACC, ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano; D – zeatina).

O déficit hídrico provoca rápida redistribuição e acúmulo de ABA nos tecidos vegetais mais sensíveis (Tuberosa et al., 1994). Ao se acumular nos tecidos de uma planta sob déficit hídrico, o ABA age principalmente desencadeando mecanismos que reduzam a perda de água, ativando o fechamento estomático e inibindo a expansão foliar (Wilkinson et al., 2012). A disponibilidade de água para as diferentes partes da planta pode ser alterada por motivos intrínsecos ao seu desenvolvimento radicular, cicatrização e vascularização da região da enxertia, regulação osmótica e transporte. Desta forma, as maiores concentrações de ABA nas folhas de plantas enxertadas (maior em FOX1/SH-Figura 6-A), aos 70 dias após a enxertia, sugerem a manifestação de algum tipo de estresse, possivelmente hídrico, mesmo com a disponibilidade de água garantida pela irrigação planejada para suprir satisfatoriamente as necessidades da planta. Estes resultados indicam a possibilidade de algum nível de incompatibilidade entre os materiais SH e FOX1, mesmo que de forma branda.

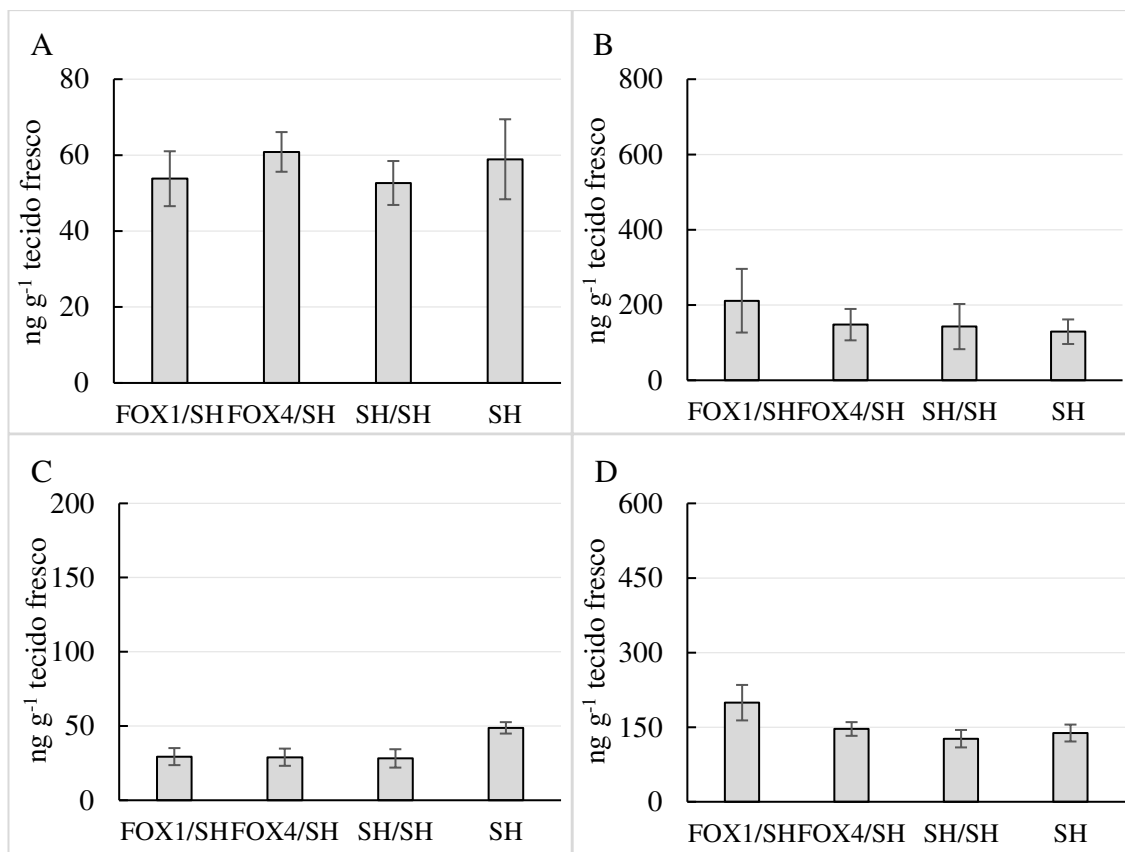


Figura 5. Concentrações de fitohormônios (ng g^{-1} de tecido fresco) detectados em folhas de tomateiro Sweet Heaven, enxertado ou não enxertado, aos 20 dias após a enxertia (A – ácido abscísico; B - ácido salicílico; C – ACC, ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano; D – zeatina).

Aos 20 dias após a enxertia, a concentração de ácido salicílico (AS) em folhas foi similar entre os tratamentos, variando de $129,1 \text{ ng g}^{-1}$ para SH pé-franco e $211,4 \text{ ng g}^{-1}$ para FOX1/SH (Figura 5-B). Já aos 70 dias após a enxertia, a concentração de AS em folhas de SH pé-franco ($534,1 \text{ ng g}^{-1}$) foi substancialmente maior em relação aos demais tratamentos (6-B).

O AS é um composto fenólico capaz de modular respostas biológicas e metabólicas de plantas sob o ataque de patógenos, atuando como agente sinalizador de defesa sistêmica. O acúmulo deste fitohormônio nos tecidos é importante para ativar vias metabólicas relacionadas à resistência sistêmica adquirida (Song et al., 2004). Além disso, trabalhos têm relacionado o AS como potencializador da fotossíntese e atenuador do déficit hídrico (Janda et al., 2014).

O papel do ácido salicílico na enxertia, seja no processo de formação de vasos ou em plantas com a união já estabelecida, não é bem conhecido (Nanda & Melnyk, 2018).

A concentração de AS foi reduzida em folhas de plantas enxertadas aos 70 dias após a enxertia (Figura 6-B). Entretanto, ainda não se sabe como a enxertia pode influenciar na síntese deste hormônio e se ele pode estar envolvido na compatibilidade entre materiais.

A concentração de ACC nas raízes atingiu maiores valores do que aqueles observados em folhas aos 20 e aos 70 dias após a enxertia (Figuras 4-C, 5-C e 6-C). Em FOX1/SH, a concentração de ACC foi inferior àquela observada em SH pé-franco (Figura 4-C). Em folhas aos 20 dias após a enxertia, a concentração em SH pé-franco foi superior, o que não se repetiu aos 70 dias, quando as concentrações de ACC foram semelhantes entre os tratamentos (Figura 5-C e 6-C). Tais resultados indicam que as concentrações de etileno, em raízes e folhas aos 20 dias após a enxertia, podem ser alteradas pela enxertia. Entretanto, com o passar do tempo ocorre estabilização dos níveis deste hormônio nos tecidos foliares.

O ACC (1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico) é o precursor imediato do fitohormônio etileno. Ele é transportado das raízes para a parte aérea, onde é convertido em etileno na presença de oxigênio. O etileno é um hormônio gasoso que regula uma série de eventos naturais da planta, incluindo a iniciação da raiz, alongamento caulinar, abscisão foliar, respostas a estresses biótico e abióticos, senescência de tecidos e amadurecimento de frutos (Lin et al., 2009). Por se tratar de um gás, sua difusão e transporte entre os tecidos acontece nos espaços intracelulares, o que facilita o seu acúmulo ou dispersão.

Os ferimentos causados pelos cortes dos caules no processo da enxertia desencadeiam o acúmulo de etileno em torno do local (Asahina et al., 2011). Análises realizadas em *Arabidopsis* evidenciaram que os genes de biossíntese do etileno são ativados na região da enxertia (Yin et al., 2012). Desta forma, as menores concentrações de ACC identificadas em raízes de FOX1/SH e nas folhas das plantas enxertadas aos 20 dias após a enxertia, sugerem que a síntese e o transporte de etileno estavam sendo direcionados para a região afetada pelos cortes de tecido e cicatrização no ponto de união da enxertia. Todavia, os níveis deste fitohormônio tendem a se estabilizar com o passar do tempo e a superação deste estresse. Assim, é possível inferir que os porta-enxertos FOX1 e FOX4 são capazes de metabolizar o ACC satisfatoriamente ao ponto sobrepujar o estresse causado pela enxertia.

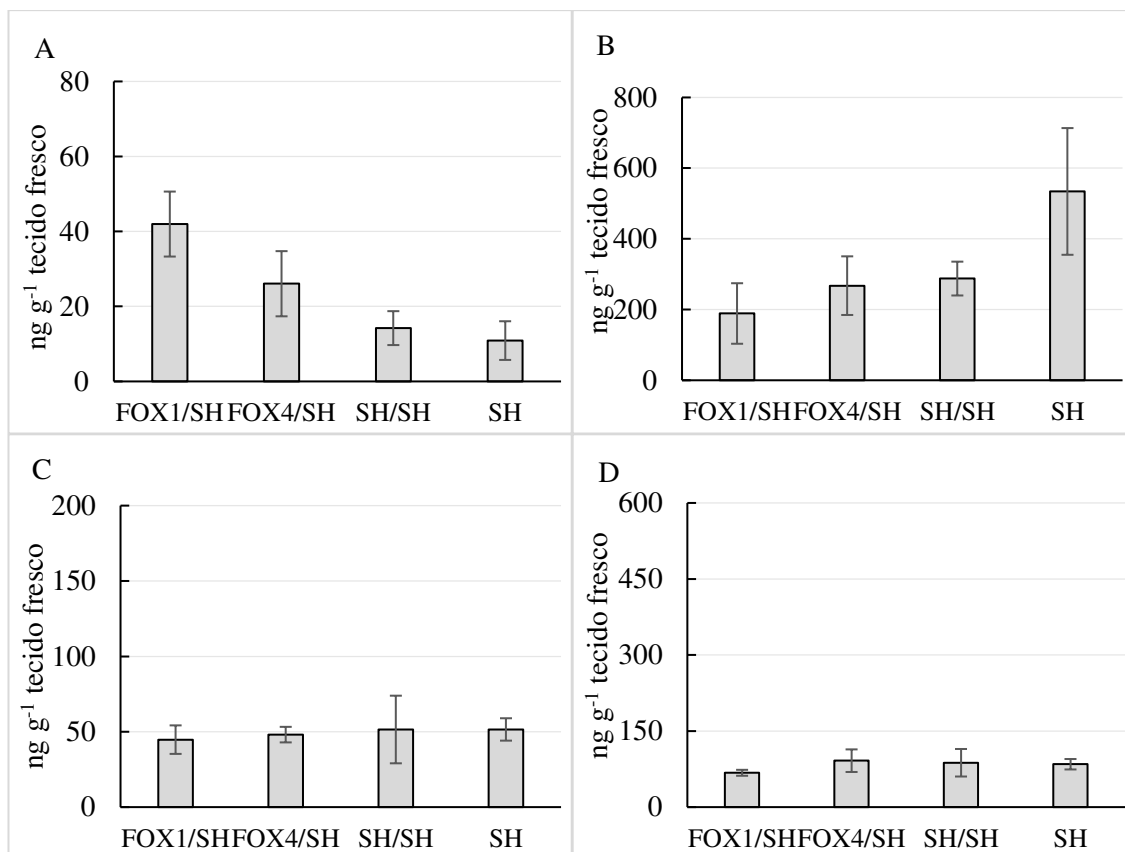


Figura 6. Concentrações de fitohormônios (ng g^{-1} de tecido fresco) detectados em folhas de tomateiro Sweet Heaven, enxertado ou não enxertado, aos 70 dias após a enxertia (A – ácido abscísico; B - ácido salicílico; C – ACC, ácido 1-carboxílico-1-aminociclopropano; D – zeatina).

As avaliações realizadas aos 20 dias após a enxertia, em raízes e folhas, atingiram maiores concentrações de zeatina, com valores acima de 125 ng g^{-1} , e chegando a 475 ng g^{-1} de tecido fresco nas raízes de Sweet Heaven em pé-franco (Figuras 4-D e 5-D). Enquanto que, em folhas aos 70 dias após a enxertia a concentração deste fitohormônio foi menor (Figura 6-D).

A concentração de citocinina (zeatina) nas raízes foi mais elevada em plantas de Sweet Heaven em relação ao observado em FOX1/SH e autoenxertadas (SH/SH). Nas folhas, aos 20 dias após a enxertia, a concentração de citocinina foi maior em FOX1/SH em relação aos demais tratamentos, o que não se repetiu aos 70 dias, quando a concentração, além de mais baixa, foi semelhante entre os tratamentos.

As citocininas estão envolvidas em diversos processos do desenvolvimento dos vegetais, dos quais destacam-se a divisão celular, manutenção de meristemas e formação de raízes adventícias. Sua síntese ocorre em células de tecidos em desenvolvimento

(meristemas, frutos e folhas jovens, embriões), sendo a zeatina a citocinina natural mais abundante. Os efeitos das citocininas normalmente estão associados com as auxinas, de forma que a sinalização e o balanço entre eles levam a diferentes respostas no organismo (Schaller et al., 2015).

O fato de as citocininas estarem diretamente ligadas ao processo de divisão celular as credenciam como importante fitohormônio durante o processo da enxertia, juntamente com a auxina. Ambos estão envolvidos na formação dos vasos condutores (xilema e floema) e na união dos tecidos para gerar o dibioto (Nanda & Melnyk, 2018). O nível endógeno de citocininas varia em função do tecido, estágio de desenvolvimento da planta e das condições ambientais. Normalmente as maiores concentrações ocorrem em regiões com elevadas taxas de divisão celular, como, por exemplo, nos meristemas e em folhas jovens, frutos e sementes em desenvolvimento.

Desta forma, é possível que o fato das maiores concentrações de zeatina terem sido encontradas nas avaliações aos 20 dias após a enxertia, por se tratarem de plantas jovens e com intensa divisão celular para expansão dos tecidos foliares e formação do sistema radicular. Soma-se a isto, a demanda deste fitohormônio no ponto de união da enxertia e regiões adjacentes. Porém, a maior concentração de zeatina nas folhas de FOX1/SH em comparação com os demais tratamentos aos 20 dias após a enxertia (Figura 5-D), pode refletir em uma maior dificuldade no processo de cicatrização em detrimento da expansão foliar.

3.6 CONCLUSÃO

A enxertia do híbrido Sweet Heaven sobre os porta-enxertos FOX1 e FOX4 altera as concentrações de fitohormônios relacionados a estresses. Diferenças acentuadas nas concentrações de etileno (ACC) e citocininas (zeatina), foram encontradas aos 20 dias após a enxertia. Porém, com o decorrer do tempo ocorre uma tendência de estabilização na concentração destes fitohormônios nos tecidos foliares. Já aos 70 dias após a enxertia, as diferenças ocorreram principalmente para ácido abscísico (ABA) e ácido salicílico (AS).

As maiores concentrações de ácido abscísico (ABA) encontradas em folhas da combinação FOX1/SH, aos 70 dias após a enxertia, sugerem certo grau de incompatibilidade entre os materiais. Enquanto que, em FOX4/SH a concentração deste fitohormônio foi intermediária, sugerindo uma maior compatibilidade. Assim, o ácido

abscísico pode ser um fitohormônio referencial a ser avaliado em plantas enxertadas para se verificar a compatibilidade entre os materiais.

Portanto, realizar avaliações da concentração de fitohormônios em plantas enxertadas pode auxiliar na previsibilidade da compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto. Apesar disso, por se tratar de um procedimento ainda pouco explorado, é necessário o estudo da compatibilidade dos materiais em condições de cultivo para analisar a viabilidade de interpretações a partir deste tipo de análise.

4. CAPÍTULO III

TROCAS GASOSAS, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTOS DE TOMATE CEREJA COM PORTA-ENXERTOS RESISTENTES À MURCHA DE FUSÁRIO

4.1 RESUMO

A enxertia pode ser uma boa alternativa para o cultivo do tomateiro cereja em condições adversas, pois este seguimento conta com número limitado de cultivares com ampla resistência às principais pragas e doenças de solo. Para isso, identificar porta-enxertos que possuam boa resistência à patógenos de solo que e não prejudiquem a produtividade e qualidade dos frutos é crucial para viabilidade do uso da enxertia. Desta forma, o objetivo foi avaliar o desempenho de porta-enxertos de tomateiro, resistentes às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, com um híbrido de tomateiro cereja, com base nas trocas gasosas, produtividade e qualidade dos frutos. A cultivar copa (enxerto) utilizada foi o híbrido de tomateiro cereja Sweet Heaven (SH) e os porta-enxertos foram FOX1 e FOX4. O tipo de enxertia utilizado foi por garfagem de topo à inglesa simples. Os tratamentos consistiram no cultivo de plantas enxertadas (FOX1/SH e FOX4/SH), autoenxertia da variedade copa (SH/SH) e plantas em pé-franco de SH, com tutoramento vertical com duas hastes, em casa de vegetação. A altura de plantas e o número de folhas foram avaliados semanalmente do transplântio até a poda apical (1,80 m). A taxa de pegamento de frutos foi avaliada no 3º e 5º cachos da haste principal. Foram realizadas avaliações de trocas gasosas aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio (DAT). As avaliações de qualidade foram feitas quinzenalmente a partir da primeira colheita. O número de folhas não foi afetado pela enxertia, enquanto que, o crescimento de FOX1/SH foi parcialmente prejudicado após 42 DAT. A taxa de pegamento de frutos foi reduzida pela enxertia, mas não comprometeu a produtividade, que foi semelhante entre as plantas de FOX1/SH, FOX4/SH e SH pé-franco. Não foram detectadas alterações nas trocas gasosas entre os tratamentos em nenhuma das épocas de avaliação. Os frutos de FOX4/SH tiveram atributos de qualidade equivalentes aos de SH em pé-franco. FOX1/SH produziu frutos com qualidade ligeiramente inferior, com reduções na firmeza (14,3%), acidez total da polpa (1,2%) e sólidos solúveis totais (6,75%), o que pode comprometer sua adoção como porta-enxerto. Portanto, o híbrido FOX4 é um material promissor a ser utilizado como porta-enxerto visando o manejo da murcha de fusário em tomateiro.

Palavras-chave: Enxertia, qualidade de frutos, resistência, tomate cereja.

GAS EXCHANGES, PRODUCTION AND FRUIT QUALITY OF TOMATO CHERRY WITH RESISTANT ROOTSTOCKS TO FUSARIUM WILT

4.2 ABSTRACT

The grafting may be a good alternative for growing cherry tomatoes under adverse conditions, because this branch counts on a limited number of cultivars with broad resistance to the main pests and soil diseases. For this, to identify rootstocks that possess good resistance to soil pathogens and do not impair productivity and fruit quality is crucial for the viability of grafting. Thus, the objective was to evaluate the performance of tomato rootstocks, resistant to the three races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, with a hybrid of cherry tomatoes, based on the gas exchange, productivity and fruit quality. The canopy variety (scion) used was the cherry tomato hybrid Sweet Heaven (SH), and the rootstocks were FOX1 and FOX4. The type used was by cleft grafting in the top simple English way. The treatments consisted of the cultivation of grafted plants (FOX1/SH and FOX4/SH), self-grafting of the canopy variety (SH/SH) and non-grafting SH plants, with vertical tutoring with two stems in greenhouse. Plant height and number of leaves were evaluated weekly from transplanting to apical pruning (1.80 m). The rate of fruit keeping was evaluated in the 3rd and 5th bunch of the main stem. Gas exchange evaluations were carried at 30, 60 and 90 days after transplanting (DAT). Quality assessments were made every two weeks from the first harvest. Leaf number was not affected by grafting, whereas FOX1/SH growth was partially impaired after 42 DAT. The rate of fruit keeping was reduced by grafting, but did not compromise productivity, which was similar between FOX1/SH, FOX4/SH and non-grafting SH. No changes were detected in gas exchange between treatments in any evaluation period. The fruits of FOX4/SH had quality attributes equivalent to those of non-grafting SH. FOX1/SH produced fruits with slightly lower quality, with reductions in firmness (14,3%) total acidic pulp (1,2%) and total soluble solids (6,75%), which may compromise its adoption as rootstock. Therefore, the FOX4 hybrid is a promising material to be used as rootstock for the management of Fusarium wilt in tomato.

Key-words: cherry tomatoes, fruit quality, grafting, resistance.

4.3 INTRODUÇÃO

A tomaticultura apresenta grande importância no cenário econômico mundial. Em 2016, a produção foi superior a 177 milhões de toneladas, em área de aproximadamente 4,8 milhões de hectares e produtividade média em torno de 37 t ha⁻¹. O levantamento dos últimos 20 anos (1996-2016) indica crescimento mundial de 91,02% da produção, 40,62% da área plantada e 35,86% na produtividade (Faostat, 2017).

Neste mesmo período no Brasil, a área plantada com tomate sofreu redução de quase 10%. Entretanto, houve crescimento de 57,35% na produção e de 74,55% na produtividade, evidenciando os avanços alcançados pela tomaticultura em função da adoção de novas tecnologias de produção e do melhoramento genético. Em 2016, foram plantados aproximadamente 64 mil hectares com a cultura do tomateiro no Brasil, gerando uma produção de 4,17 milhões de toneladas, e produtividade média acima de 65 t ha⁻¹ (Faostat, 2017).

Dentre os vários problemas fitossanitários que ocorrem na cultura do tomateiro, a incidência de doenças tem destaque, devido ao grande número de patógenos e os prejuízos que causam. Uma doença de grande relevância que afeta o tomateiro é a murcha de fusário, causada pelo fungo *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder & Hansen (*FOL*). Esta espécie possui três raças fisiológicas descritas (raças 1, 2 e 3) (Sela-Burlage et al., 2001), sendo que as raças 1 e 2 estão amplamente dispersas nas regiões produtoras. Contudo, o manejo da doença tem sido facilitado pela grande quantidade de cultivares resistentes à estas duas raças (1 e 2).

No Brasil, a raça 3 foi descrita primeiramente afetando cultivos comerciais no estado do Espírito Santo (Reis et al., 2005) e, posteriormente, no Rio de Janeiro (Reis & Boiteux, 2007). Recentemente, isolados da raça 3 também foram identificados nos estados da Bahia (Barboza et al., 2013) e Minas Gerais (Gonçalves, 2015). Ainda que existam limitações geográficas, esta doença representa grande risco ao cultivo do tomateiro em função do risco de disseminação e escassez de cultivares resistentes amplamente disponíveis.

Um seguimento da tomaticultura que tem ganhado cada vez mais espaço é a produção de minitomates, especialmente os tomates cereja. No entanto, o cultivo deste tipo de tomateiro é basicamente restrito a condições de ambiente protegido, com a utilização de substratos estéreis. Uma das razões pelas quais este seguimento não é amplamente difundido é a falta de cultivares adaptadas as diferentes regiões produtoras e resistentes às principais doenças, sobretudo aquelas causadas por patógenos habitantes do

solo. Não existem, até o momento, cultivares de tomateiro cereja com resistência às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*

Diante deste cenário, uma alternativa para o cultivo de tomateiro cereja diretamente em solos com problemas fitossanitários, seja em campo aberto ou em ambiente protegido, é o emprego da enxertia com porta-enxertos que tenham múltipla resistência à patógenos de solo. A enxertia tem sido empregada na horticultura para a obtenção de plantas com a capacidade de se desenvolver e produzir em condições adversas ao cultivo. O método da enxertia consiste em unir partes de duas ou mais plantas diferentes, permitindo que cresçam e desenvolvam juntas como um único indivíduo, normalmente combinando as características de cada parte para melhorar a resistência a pragas e doenças, tolerância a estresses abióticos, produtividade e qualidade dos frutos (Mudge et al., 2009).

Mais do que auxiliar no manejo de doenças de solo e possibilitar o cultivo em condições adversas, a enxertia pode aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos frutos (Peil, 2003). No caso do tomateiro, muitos são os estudos que evidenciam acréscimos na produtividade e/ou qualidade dos frutos (Flores et al., 2010; Schwarz et al., 2010; Turhan et al., 2011). Todavia, casos em que a enxertia é associada a reduções na qualidade dos frutos foram descritos em algumas culturas, como, melanciaira (Fredes et al., 2017), meloeiro (Guan et al., 2015), pepineiro (Lee et al., 1999) e também no tomateiro (Pogonyi et al., 2005).

Os mecanismos pelos quais a enxertia pode alterar a produtividade e a qualidade dos frutos ainda não estão bem elucidados. Estudos recentes têm buscado relacionar não apenas a compatibilidade entre enxerto e o porta-enxerto, mas também investigar alterações fisiológicas e bioquímicas associadas aos resultados, muitas vezes divergentes. Dentre as principais linhas de investigação estão as alterações nos parâmetros fotossintéticos, síntese e sinalização hormonal, aporte de nutrientes, transporte e interação de biomoléculas entre o enxerto e o porta-enxerto (San Bautista et al., 2011; Schwarz et al., 2013; Zhang et al., 2016; Nanda & Melnyk, 2018).

Diante do exposto, identificar porta-enxertos que, além de possuírem resistências de interesse, não prejudiquem a produtividade e a qualidade de frutos, ou que sejam capazes de incrementar estas características, é de suma importância para aumentar as opções no manejo da murcha de fusário do tomateiro e garantir produtividades satisfatórias. Além disso, poderão viabilizar e incentivar o cultivo de tomateiro cereja em condições nas quais hoje não é possível.

O objetivo foi avaliar o desempenho de porta-enxertos de tomateiro, resistentes às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, quando enxertados com um híbrido de tomateiro cereja, com base nas trocas gasosas, produtividade e qualidade dos frutos.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Material vegetal utilizado

A cultivar copa (enxerto) utilizada foi o híbrido Sweet Heaven (SH), da empresa Sakata Seed Sudamerica[®], que possui resistência à mancha-de-estenfílio (*Stemphylium solani*), ao mosaico do tomateiro (Tomato Mosaic Virus – ToMV) e à raça 1 de *FOL*.

Os porta-enxertos utilizados foram os híbridos FOX1 e FOX4, ambos resistentes às três raças de *FOL*. Estes híbridos foram desenvolvidos mediante cruzamentos entre germoplasma de tomateiro contendo o gene *I-3*, que confere resistência à raça 3, com outro acesso com os genes *I-1* e *I-2*, que conferem resistência às raças 1 e 2, respectivamente.

Os germoplasma que possuem o gene de resistência à raça 3, utilizados como genitores (LA4025 e LA4065) dos híbridos FOX 1 e FOX4, são resultantes de linhagens de introgressão de *Solanum pennellii* (LA716) em *Solanum lycopersicum* (cultivar M82). Eles foram selecionados, desenvolvidos e cedidos pelo Tomato Genetics Resource Center (TGRC-Centro de Recursos Genéticos de Tomate) da Universidade da Califórnia, Davis, EUA.

Os tratamentos consistiram nas diferentes combinações entre porta-enxertos e enxerto (FOX1/SH e FOX4/SH), autoenxertia da cultivar copa (SH/SH) e na condução em pé-franco de Sweet Heaven (SH).

4.4.2 Caracterização do local do ensaio e condução de mudas

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Unidade Experimental de Pesquisa e Extensão (UEPE) Horta Velha da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG (20°45'29"S, 42°50'46"O e 685 metros de altitude).

O semeio foi feito em bandejas de polietileno de 64 células (8x8) contendo substrato de plantio Carolina Soil[®]. Foram adicionadas duas sementes por célula e em seguida as bandejas foram acondicionadas em câmara escura por 72 horas para estimular a germinação. Após este período, as bandejas foram transferidas para casa de vegetação (20,0 x 6,0 metros) e irrigadas duas vezes por dia via sistema de irrigação por aspersão.

As enxertias foram realizadas aos 30 dias após o semeio combinando os diferentes porta-enxertos (tratamentos) com a cultivar copa. O tipo de enxertia utilizado foi por garfagem de topo à inglesa simples.

Após a enxertia, as plantas foram levadas para câmara de crescimento com umidade relativa acima de 90% e na ausência de luz, permanecendo nestas condições por quatro dias. Passado este período, as plantas foram colocadas, gradativamente por períodos maiores, em casa de vegetação sob incidência de luz solar e temperatura ambientes para a aclimatização, até ficarem durante todo o dia em condições de plena turgidez (aclimatizadas), o que ocorreu 15 dias após a enxertia.

Antes do transplântio das mudas para o solo na casa de vegetação, foi feita amostragem para caracterização física e química do solo para posteriores recomendações de adubação (Quadro 1).

Quadro 1. Resultados das análises física e química do solo da casa de vegetação da área experimental.

pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)
H ₂ O	-----mg/dm ³ -----		-----cmol _c /dm ³ -----						
6,2	272,0	230,0	9,8	1,4	0,0	2,97	11,8	11,8	14,8
V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
-----%-----		dag/kg	mg/L	-----mg/dm ³ -----					
80	0	2,75	38,9	26,5	39,7	50,0	3,7	0,7	15,8
Argila	Silte	Areia	Classificação Textural*						
-----%-----			Franco-argiloso						
38	17	45							

pH em água, KCL e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P – Na – K – Fe – Zn – Mn – Cu: Extrator Melhich 1; Ca – Mg – Al: Extrator: KCl – 1 mol/L; H + Al: Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L pH 7,0; B – Extrator Água quente; S - Extrator Fosfato monocálcico em ácido acético; SB = Soma de Bases Trocáveis; CTC (t) = Capacidade de Troca Catiônica Efetiva; CTC (T) = Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0; V = Índice de Saturação de Bases; m = Índice de Saturação de Alumínio; MO = Matéria Orgânica – oxidação Na₂Cr₂O₇ 4N +H₂SO₄ 10N; P-rem = Fósforo Remanescente.

*O método utilizado foi o da “Pipeta” segundo a EMBRAPA.

A interpretação das análises e as recomendações de adubação foram feitas seguindo Ribeiro et al. (1999). Foram aplicados 500 kg ha⁻¹ de P₂O₅, 250 kg ha⁻¹ de K₂O e 200 kg ha⁻¹ de Nitrogênio. Não houve necessidade de aplicações de micronutrientes, visto que apresentaram níveis considerados bons (B, Fe e S) e até elevados (Cu, Mn e Zn). Foi feita adubação de plantio com 30% da dose de P₂O₅ e as demais adubações foram realizadas via fertirrigação.

4.4.3 *Condução do ensaio*

As mudas foram transplantadas para o solo em espaçamento de 1,0 x 0,5 metro (entrelinhas x entre plantas) e conduzidas com duas hastes até aproximadamente 1,80 metros de altura. As parcelas foram dispostas em delineamento em blocos casualizados (DBC) com quatro tratamentos e cinco repetições, totalizando 20 parcelas. Cada parcela constituída por seis plantas, sendo considerada como parcela útil as quatro plantas centrais.

O manejo da irrigação foi feito com base em dados meteorológicos (radiação solar, temperatura, umidade relativa e velocidade do vento) obtidos por meio de estação meteorológica automática (Irriplus[®] – modelo E5000) instalada dentro da casa de vegetação. O manejo hídrico foi gerenciado pelo software IRRIPLUS (2008) que apresenta em tempo real o balanço hídrico resultante da integração das características do solo, água disponível, estágio fenológico da planta e o clima, gerando as necessidades hídricas da cultura (lâmina de irrigação). O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento superficial.

As plantas foram conduzidas por 156 dias (julho a dezembro de 2017). As colheitas dos frutos ocorreram semanalmente, dos 87 dias após o transplântio (12^a semana) aos 156 dias após o transplântio (22^a semana), totalizando 11 colheitas. A colheita dos frutos foi baseada na sua maturação, sendo colhidos apenas os frutos com coloração vermelho intenso.

4.4.4 *Avaliações de altura, número de folhas e taxa de pegamento de frutos*

As plantas foram avaliadas semanalmente quanto à sua altura e número de folhas (>10 cm) até os 77 dias após o transplântio. Transcorrido este período, algumas plantas atingiram a altura na qual foi realizada a poda apical (1,80 m), sendo encerradas as medições.

A taxa de pegamento dos frutos foi avaliada no 3^o e 5^o cachos da haste principal. Para isto, os cachos foram previamente marcados e seu desenvolvimento acompanhado semanalmente. O cálculo foi realizado pela porcentagem de frutos colhidos em relação ao número de flores emitidas. A altura de plantas, número de folhas e taxa de pegamento de frutos foram avaliadas em três plantas da parcela útil.

4.4.5 Avaliações de trocas gasosas

A fim de estudar o desempenho dos porta-enxertos no que se refere a parâmetros ecofisiológicos e como estes podem estar relacionados à produtividade e qualidade dos frutos foram realizadas avaliações de trocas gasosas aos 30, 60 e 90 dias após o transplantio (DAT).

O aparelho utilizado foi um analisador de gases a infravermelho em sistema aberto (*Infra-red Gas Analyser-IRGA*), modelo LI-6400XT (LI-COR, Lincoln, Nebraska, EUA), dotado de câmara amostral de 2 cm². As medições foram realizadas na terceira folha expandida contada partir do ápice da haste principal, no período de 08:00 às 11:00 h, sob irradiância de 1.000 μmol de fótons $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$, condição padrão de CO₂ de 400 ppm e temperatura de 25°C. A média de cada parcela foi obtida a partir de cinco medições em uma planta escolhida aleatoriamente dentro da parcela útil.

As variáveis avaliadas foram a taxa de assimilação líquida de CO₂ (A – mol de CO₂ $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s – mol H₂O. $\text{m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ (C_i – mmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa de transpiração foliar (E – mmol H₂O $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$), razão entre as concentrações de carbono interno e externo (C_i/C_a), eficiência instantânea do uso da água (EUA – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$; $EUA=A/E$) e a eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s – $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância ($p < 0,05$) e, em caso de diferença significativa, a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), através do software SISVAR (Ferreira, 2011).

4.4.6 Avaliações de produção, cor e qualidade dos frutos

Os frutos foram colhidos semanalmente e quantificados quanto ao número e massa. Além disso, cinco frutos de cada parcela eram coletados aleatoriamente para mensurações de cor (L^* , a^* e b^* – colorímetro digital, Konica Minolta®, modelo CR-10) e diâmetros longitudinal e transversal (DL e DT – paquímetro digital 150 mm, Jomarca®, modelo 205509). Ao final das colheitas foi possível calcular os diâmetros médios longitudinal e transversal, a razão entre eles (DL/DT), e também os parâmetros médios de cor (L^* , a^* , b^* , cromas e o ângulo Hue) dos frutos.

A classificação do tomate, quanto ao seu grupo, é definida de acordo com o formato do fruto, podendo ser oblongo ou redondo. Sendo o maior diâmetro do fruto (longitudinal ou transversal) é o referencial para a classificação. Ao se fazer a relação

entre DL e DT, admite-se que: $DL/DT > 1,00$ – fruto oblongo e $DL/DT \leq 1,00$ – fruto redondo (Brasil, 1995).

A coloração dos frutos de tomate que são destinados para o consumo *in natura* é um dos fatores mais importantes para a escolha do consumidor, juntamente com a textura (Liu et al., 2009). Os valores de L^* indicam a luminosidade/brilho e variam de 0 a 100 (0-totalmente preto, 100-totalmente branco), a^* representa uma escala de tonalidade que vai do verde ($-a$) ao vermelho ($+a$) e o parâmetro b^* indica as variações de tonalidade do azul ($-b$) ao amarelo ($+b$). Já os índices colorimétricos Cromaticidade (croma) e o ângulo de cor Hue (em graus) foram calculados a partir das equações 1.1 e 1.2. Croma indica a saturação e pureza da cor, enquanto o ângulo Hue define a tonalidade da cor (0° -vermelho; 90° -amarelo; 180° -verde e 270° -azul). As medições foram realizadas na região equatorial do fruto sem a remoção do epicarpo. O colorímetro foi ajustado para o sistema de leitura $L^* a^* b^*$, e calibrado em uma placa branca padrão de cerâmica.

$$croma = (a^{*2} + b^{*2})^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 1.1}$$

$$hue = \tan^{-1} \frac{a^*}{b^*} \quad \text{Equação 1.2}$$

As variáveis de produção avaliadas foram: o número médio de frutos por planta (NFP), número médio de frutos por cacho (NFC), produção de frutos por planta (PFP), massa média de frutos (MMF) e a estimativa da produtividade (PROD). PFP e MMF foram avaliados em balança analítica Shimadzu® (modelo BL3200H).

Para as análises de qualidade dos frutos foram retirados aleatoriamente cerca de 250 gramas de tomates de cada parcela a cada quinze dias, mais precisamente nas 3ª, 5ª, 7ª, 9ª e 11ª colheitas. As variáveis avaliadas foram: a acidez total da polpa (pH), sólidos solúveis totais (SST), resistência à penetração (firmeza), acidez titulável (AT) e o sabor (SST/AT).

A resistência à penetração foi medida utilizando-se dinamômetro digital reversível (Force Gauge®, modelo DD-200). As medições foram realizadas na região equatorial do fruto sem a retirada do epicarpo. O valor médio de cada parcela foi determinado pela leitura de três frutos e os resultados expressos em Newton (N).

Para as avaliações de pH, SST e AT, aproximadamente 150 gramas de frutos de cada parcela foram triturados em liquidificador por 30 segundos e a polpa resultante transferida para copos plásticos previamente identificados. As medições de acidez total (pH) foram realizadas utilizando peagâmetro de bancada (Digmed®, modelo DM-22), introduzindo o bulbo do eletrodo diretamente na polpa (três leituras por parcela). Para as

medições de sólidos solúveis totais foi utilizado refratômetro digital (Hanna[®], modelo HI-96801). Para isto, uma alíquota de aproximadamente um mL da polpa foi colocada no aparelho e a leitura expressa em °Brix.

Para a quantificação da acidez titulável (AT), expressa em % de ácido cítrico, uma alíquota de aproximadamente cinco gramas da polpa triturada foi pesada em balança analítica e transferida para balões volumétricos de 100 mL e o volume completado com água destilada. Após este processo foram pipetados 10 mL da solução para Erlenmeyers, também de 100 mL, e adicionados duas gotas de um indicador de pH (fenolftaleína 1%). A titulação foi feita com solução de NaOH a 0,005 mol L⁻¹. Este processo foi repetido duas vezes e a média entre os valores gastos foi usado para representar a média da parcela.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro tratamentos e cinco repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância ($p < 0,05$) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$), através do software SISVAR (Ferreira, 2011).

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Avaliações de altura, número de folhas e taxa de pegamento de frutos

As plantas de todos os tratamentos tiveram crescimento inicial similar (Figura 7-A). As plantas da combinação FOX4/SH tiveram crescimento similar ao de SH em pé-franco durante todo o período analisado. Já as plantas de FOX1/SH, tiveram uma menor altura em relação as de SH pé-franco (Figura 7-A) a partir dos 42 DAT com diferença mantida até o final das avaliações. Portanto, as plantas de FOX1/SH necessitaram de mais tempo de condução até chegarem na altura limite (1,80 m) para a poda apical.

O número de folhas por planta se manteve semelhante entre os tratamentos ao longo de todo o período de avaliação (Figura 7-B), evidenciando que a enxertia com os híbridos FOX1 e FOX4 não afeta o número de folhas emitidas pela planta.

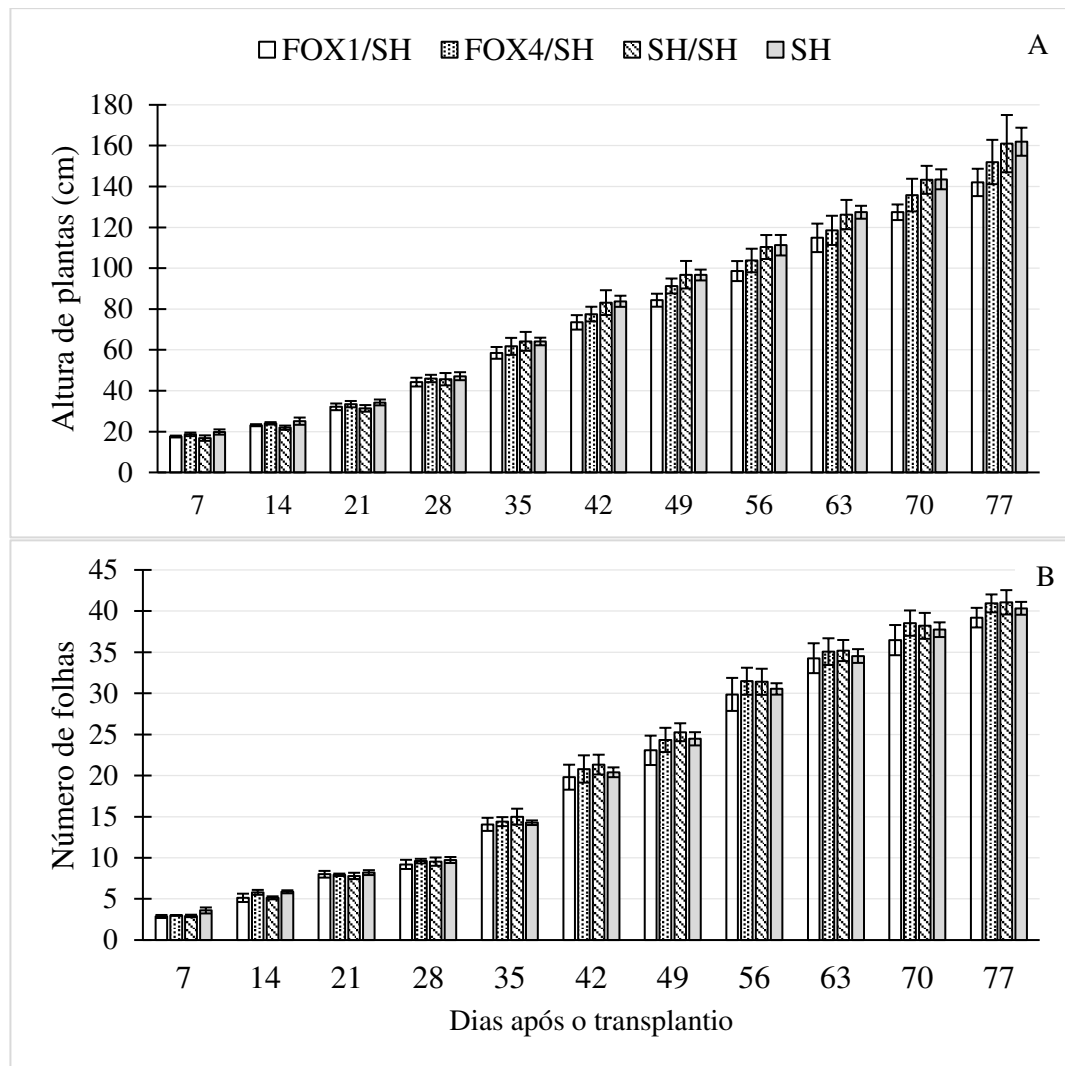


Figura 7. Altura de plantas (A) e número de folhas >10cm (B) de plantas de tomateiro Sweet Heaven, enxertado ou não enxertado, dos 7 aos 77 dias após o transplante.

O crescimento inicial em plantas enxertadas pode ser afetado devido aos estresses causados pela enxertia. A ruptura dos vasos condutores, em razão do corte dos caules para realização da enxertia, pode atrasar o crescimento da planta. Após o reestabelecimento das conexões vasculares e a retomada na fixação de carbono, durante o período de aclimatização das mudas, a planta retorna seu crescimento, desde que haja compatibilidade entre os materiais (Simões et al., 2014). Diante disso, a similaridade no crescimento inicial não era esperada (Figura 7-A), pois as plantas enxertadas tiveram crescimento equivalente ao de mudas pé-franco mesmo após o processo de enxertia e aclimatização (15 dias). Em contrapartida, a menor altura de plantas de FOX1/SH pode indicar alguma incompatibilidade entre os materiais, de forma mais evidente após os 42

DAT. Neste estágio de desenvolvimento, a planta apresenta alta demanda hídrica e de nutrientes para sustentar seu crescimento vegetativo e o início do reprodutivo, podendo assim exteriorizar estresses causados pela enxertia, antes imperceptíveis.

Santos (2005) relatou que realizar avaliações de altura de plantas enxertadas é importante para observar o crescimento inicial pós-enxertia, o que pode ser bom indicativo da compatibilidade entre os materiais. Assim, sugere-se também que seja feito acompanhamento do crescimento e do número de folhas emitidas em plantas enxertadas, pois tais avaliações podem auxiliar na identificação de estresses e incompatibilidades que podem aparecer no decorrer do cultivo.

A taxa de pegamento de frutos nas plantas sem enxertia (SH pé-franco) atingiu valores acima de 93%, tanto no 3º quanto no 5º cacho. Já em plantas autoenxertadas e enxertadas, seja com o híbrido FOX1 ou FOX4, a taxa de pegamento foi inferior (Figura 8-A e B).

As maiores porcentagens de aborto de frutos ocorreram em plantas de FOX1/SH, sendo de 18,2% e 19,5%, no 3º e 5º cacho, respectivamente. Nas plantas autoenxertadas (SH/SH) os valores foram intermediários, sendo 13,5% no 3º cacho e 12,3% no 5º cacho (Figura 8-A e B). É possível que a enxertia reduza a taxa de pegamento de frutos, independentemente dos porta-enxertos FOX1 e FOX4, uma vez que o decréscimo do pegamento ocorreu também nas plantas autoenxertadas (Figura 8-A e B). O pegamento de frutos está relacionado com temperatura e disponibilidade de recursos hídricos e nutricionais. Além disso, há um requerimento de níveis hormonais (giberelinas, auxinas e citocininas) para o crescimento e desenvolvimento satisfatório dos ovários, o que impacta diretamente no pegamento de frutos.

A aplicação exógena de giberelinas e auxinas é capaz de alterar o pegamento de frutos em *Citrus* sp. (Serciloto, 2001). Alterações na taxa de pegamento de frutos em plantas enxertadas são pouco exploradas, embora possam ser bom indicativo da compatibilidade entre materiais e ser relacionado com as alterações de produtividade comumente associadas ao uso da enxertia. Com base nos resultados encontrados neste trabalho (Figura 8), é possível inferir que a enxertia pode reduzir o pegamento de frutos, e por isso é importante avaliar esta variável para estimar a compatibilidade e o desempenho de porta-enxertos.

Zeist (2015) avaliou a taxa de pegamento de frutos em tomateiros enxertadas por diferentes tipos e utilizando porta-enxertos do gênero *Solanum* e *Physalis*. Seus resultados apontaram para fixação de frutos em torno de 50% para a maioria das combinações,

enquanto que, quando utilizado *Solanum habrochaites* como porta-enxerto, a fixação de frutos foi de aproximadamente 80% e a produção de frutos comerciais foi superior.

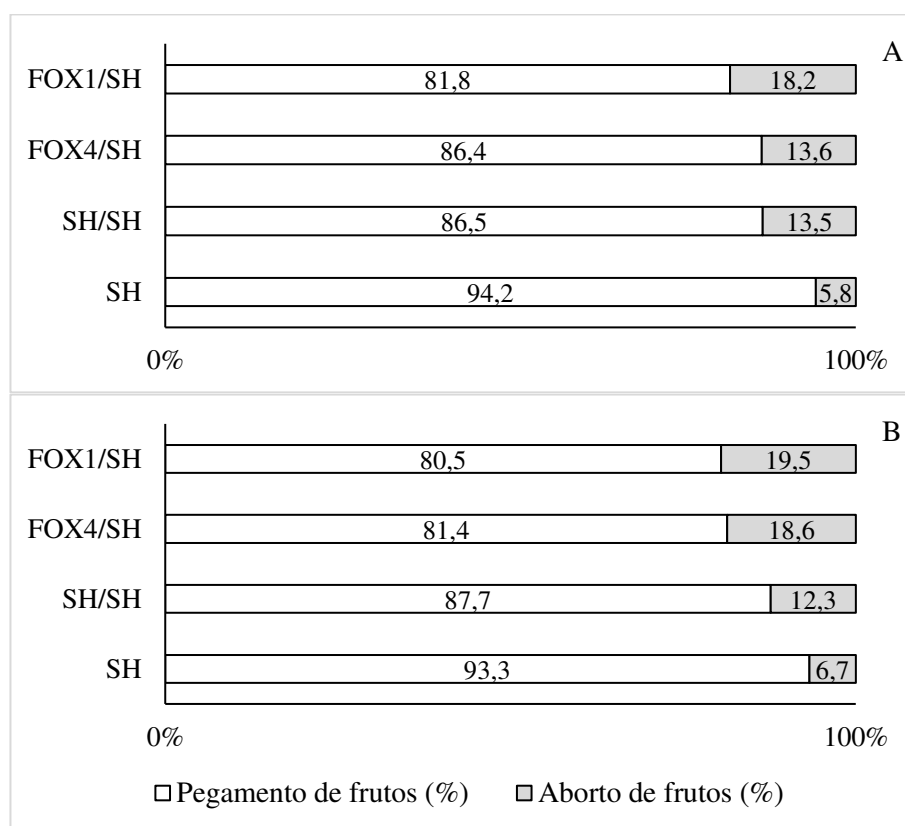


Figura 8. Porcentagem de pegamento e aborto frutos do 3º (A) e 5º (B) cachos de tomateiro Sweet Heaven, enxertado ou não enxertado.

4.5.2 Trocas gasosas

Não foram detectadas alterações nas trocas gasosas nas plantas enxertadas com os híbridos FOX1 e FOX4, autoenxertadas ou em pé-franco de Sweet Heaven, nas épocas de avaliação (Tabela 3). Assim, os híbridos FOX1 e FOX4 não afetam os parâmetros fotossintéticos quando utilizados como porta-enxertos de Sweet Heaven. Tais resultados podem ser considerados positivos, especialmente por estes materiais terem sido selecionados apenas em razão de sua capacidade de conferir resistência às três raças de *FOL*, e não em relação a características de produção e tolerância a estresses abióticos, estas que estão diretamente relacionadas com atributos ecofisiológicos.

A enxertia tem sido empregada com sucesso para reduzir os danos causados por estresses bióticos e abióticos, dos quais destacam-se a resistência à seca (Kumar et al., 2017), resistência ou tolerância a patógenos de solo (King et al., 2008) e temperaturas adversas (Schwarz et al., 2010). Entretanto, somente nos últimos anos os pesquisadores

têm buscado aprofundar os estudos sobre os aspectos fisiológicos e biomoleculares da enxertia. Diante disso, a análise de trocas gasosas tem sido uma ferramenta fundamental para explorar estas interações.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros ecofisiológicos: A , g_s , C_i , E , C_i/C_a , EUA , A/g_s , em tomateiro Sweet Heaven, enxertado ou não enxertado, aos 30, 60 e 90 dias após o transplantio.

Tratamentos	A	g_s	C_i	E	(C_i/C_a)	EUA	A/g_s
	30 DAT						
FOX1/SH	24,43 ^{ns}	0,43 ^{ns}	279,59 ^{ns}	6,02 ^{ns}	0,73 ^{ns}	4,10 ^{ns}	57,16 ^{ns}
FOX4/SH	23,97	0,44	285,45	6,17	0,74	3,89	53,71
SH/SH	25,14	0,43	277,89	6,26	0,72	4,01	57,70
SH	25,31	0,41	270,46	5,95	0,70	4,27	62,35
C.V. (%)	8,66	11,19	2,96	5,45	2,94	7,71	8,67
60 DAT							
FOX1/SH	15,58 ^{ns}	0,36 ^{ns}	303,97 ^{ns}	5,19 ^{ns}	0,78 ^{ns}	3,04 ^{ns}	46,35 ^{ns}
FOX4/SH	14,49	0,35	307,40	4,96	0,78	2,99	44,88
SH/SH	16,65	0,36	299,15	5,36	0,77	3,20	48,99
SH	18,60	0,38	296,97	5,66	0,76	3,30	49,19
C.V. (%)	20,22	25,31	5,89	16,19	5,83	16,01	22,65
90 DAT							
FOX1/SH	21,41 ^{ns}	0,37 ^{ns}	272,29 ^{ns}	8,38 ^{ns}	0,71 ^{ns}	2,57 ^{ns}	59,59 ^{ns}
FOX4/SH	24,60	0,43	269,14	9,04	0,70	2,74	60,55
SH/SH	21,42	0,42	286,52	8,98	0,74	2,39	51,57
SH	24,31	0,45	279,73	9,54	0,73	2,57	54,22
C.V. (%)	17,00	27,69	6,22	16,20	6,51	8,87	19,30

ns = não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). C.V. = coeficiente de variação.

A – taxa de assimilação líquida de CO_2 ($\text{mol de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); g_s – condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); C_i – concentração interna de CO_2 ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); E – taxa de transpiração foliar ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); C_i/C_a – razão entre as concentrações de carbono interno e externo; EUA – eficiência instantânea do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol H}_2\text{O}^{-1}$; $EUA=A/E$); A/g_s – eficiência intrínseca do uso da água ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$).

A melhoria na eficiência instantânea no uso da água (EUA) em plantas é normalmente relacionada ao aumento na taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), redução na taxa de transpiração foliar (E), ou ambas condições (Khah et al., 2011). Liu et al. (2016) observaram aumento da EUA de plantas de pepineiro (*Cucumis sativus*) enxertados em uma cultivar de *Luffa cylindrica*, e concluíram que, entre os fatores responsáveis, estavam o aumento na A e uma redução de E , proporcionado pelo enxerto em condições de salinidade.

Os estudos de trocas gasosas em plantas enxertadas geralmente são realizados com a imposição de estresses, seja térmico, salino, biológico ou hídrico. Estas condições têm sido úteis para revelar alguns mecanismos pelos quais a enxertia consegue contornar condições desfavoráveis ao cultivo. A ausência de diferenças, entre os parâmetros de trocas gasosas analisados, sugere que as combinações de porta-enxertos/enxerto avaliadas superaram o estresse inicial causado pela enxertia e que tem as mesmas condições de produzir matéria seca e frutos com os mesmos recursos disponíveis. He et al. (2009) verificaram que a enxertia em tomateiro melhorou o desempenho da fotossíntese, com altos valores de g_s e EUA sob condições salinas. Ainda segundo os autores, as plantas mantiveram maior atividade fotoquímica do fotossistema II (PSII), aumentaram a capacidade do sistema antioxidante, reduziram o nível de peroxidação lipídica e tiveram maior crescimento.

Os resultados semelhantes de trocas gasosas entre os tratamentos com Sweet Heaven (como enxerto, autoenxertado e pé-franco) nas três épocas de avaliação sugerem boa compatibilidade da enxertia entre os materiais. A enxertia por garfagem de topo em fenda cheia é muito utilizada para o tomateiro. Zeist et al. (2017) estudaram diferentes tipos de enxertia em tomateiro e obtiveram aumentos na taxa de assimilação líquida de CO_2 (A) e melhoria na eficiência do uso da água (EUA) em plantas enxertadas por garfagem de topo em fenda cheia.

4.5.3 *Produção, cor e qualidade dos frutos*

Os frutos de Sweet Heaven, cultivado em pé-franco ou com os diferentes porta-enxertos foram classificados como oblongos ($DL/DT > 1,00$). Assim, é possível afirmar que a enxertia com FOX1 e FOX4 não altera o formato dos frutos de Sweet Heaven.

A autoenxertia de Sweet Heaven resultou em frutos maiores, com maior DL em relação aos demais tratamentos e maior DT em relação a combinação FOX4/SH. Por conseguinte, a massa média de frutos (MMF) também foi maior, com 9,86 gramas (Tabela 4), muito embora, seja comum a preferência do consumidor por frutos de tomate cereja com tamanho reduzido, pela facilidade de sua ingestão *in natura*. Já o número de frutos por planta (NFP) foi semelhante entre os tratamentos, variando entre 444 e 482. Da mesma forma que o número de frutos por cacho (NFC), que variou de 29,6 a 32,1 (Tabela 4).

Existe na literatura desconformidade nos resultados relacionados a alterações de formato, tamanho, número de frutos e produtividade de tomateiros com a utilização da

enxertia. O formato do fruto raramente foi avaliado em tomateiro enxertado (Kyriacou et al., 2017), mesmo que alterações já tenham sido relatadas (Schwarz et al., 2013). Acréscimos na produtividade com o uso da enxertia são associados ao aumento no tamanho e, conseqüentemente, no diâmetro dos frutos em plantas enxertadas (Riga, 2015). Apesar disso, o aumento no número médio de frutos, ocorrendo ou não redução no peso médio, pode resultar em ganhos de produtividade (Savvas et al., 2011).

Tabela 4. Valores médios de diâmetro longitudinal de fruto – DL (mm); diâmetro transversal de fruto – DT (mm); razão entre o diâmetro longitudinal e transversal – DL/DT; número de frutos por planta – NFP; número de frutos por cacho – NFC; massa média de frutos – MMF (g); produção de frutos por planta – PFP (kg planta⁻¹) e produtividade – PROD (t ha⁻¹), de frutos de tomateiro Sweet Heaven, enxertados e não enxertados.

	DL	DT	DL/DT	NFP	NFC	MMF	PFP	PROD
FOX1/SH	31,15 b	21,70 ab	1,435 ^{ns}	477 ^{ns}	31,8 ^{ns}	8,21 b	3,93 ab	78,50 ab
FOX4/SH	30,26 b	20,83 b	1,453	444	29,6	7,54 b	3,36 b	67,29 b
SH/SH	32,84 a	22,41 a	1,466	482	32,1	9,86 ^a	4,74 a	94,77 a
SH	31,37 b	21,82 a	1,438	464	30,9	8,46 b	3,95 ab	78,91 ab
C.V.	2,20	2,29	1,23	9,97	9,97	8,15	14,3	14,32

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo pelo teste F ($p > 0,05$). C.V. = coeficiente de variação.

A interação da enxertia com o peso de frutos e produtividade do tomateiro é dependente da combinação e compatibilidade entre os materiais (Schwarz et al., 2013). Na maior parte dos casos estas alterações parecem ser dependentes do vigor dos materiais utilizados, sobretudo na variação de vigor do porta-enxerto. Os incrementos no peso médio dos frutos normalmente acontecem quando são utilizados porta-enxertos vigorosos (Khah et al., 2006), principalmente quando a variedade copa produz frutos de tamanho reduzido (Schwarz et al., 2013).

A combinação de FOX4/SH produziu menos frutos por planta (PFP) e, conseqüentemente menor produtividade (PROD) em comparação com as plantas autoenxertadas de Sweet Heaven, mas não diferiram dos valores alcançados por Sweet Heaven em pé-franco (Tabela 4). FOX1/SH também atingiu valores de PFP e PROD semelhantes aqueles de plantas do Sweet Heaven em pé-franco ou autoenxertados. Tais resultados indicam que estes porta-enxertos não influenciam na produtividade do híbrido Sweet Heaven e podem ser alternativas para atingir bons patamares de produção.

Os valores médios da coordenada L^* e dos índices colorimétricos Croma e Hue não diferiram estatisticamente entre si, indicando valores de brilho, pureza e tonalidade de cor iguais entre os frutos de todos os tratamentos. Os frutos oriundos de FOX4/SH também obtiveram valores médios de a^* e b^* iguais aos de SH em pé-franco, isto é, foram semelhantes em todos os parâmetros de cor analisados. Os frutos de FOX1/SH tiveram maiores valores médios de a^* e b^* , indicando que apresentam tonalidades de vermelho e amarelo superiores em relação àqueles de frutos de SH pé-franco (Figura 9).

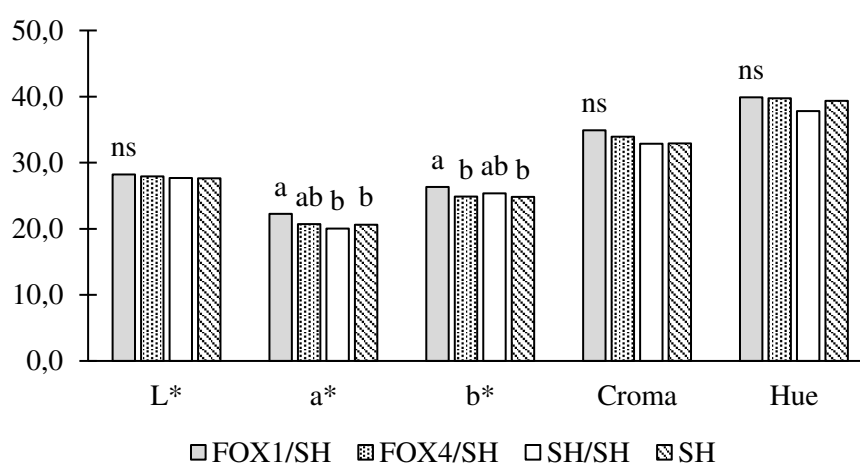


Figura 9. Valores médios das coordenadas colorimétricas, L^* , a^* e b^* , e dos índices colorimétricos, croma e ângulo Hue, do epicarpo de frutos de tomateiro Sweet Heaven, enxertados e não enxertados. Médias acima das barras seguidas de mesma letra, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo pelo teste F ($p > 0,05$).

A coloração dos frutos de tomate é um dos atributos externos mais relevantes para a escolha do consumidor. Sendo que os tomates de coloração vermelha intensa e com maior firmeza tem maior aceitação pelo mercado. Os maiores valores de a^* e b^* em FOX1/SH sugerem maiores concentrações de pigmentos relacionados as colorações vermelho e amarelo. São os carotenóides os pigmentos responsáveis pela coloração dos frutos, dos quais os mais importantes em frutos de tomate são o β -caroteno e o licopeno, sendo determinantes para presença e intensidade das cores vermelha e amarela, respectivamente (Schouten et al., 2007). Durante o amadurecimento do fruto de tomate, ocorre a degradação da clorofila, síntese de licopeno e outros carotenóides, de forma que os cloroplastos são convertidos em cromoplastos, resultando na coloração vermelha (Fraser et al., 1994).

Assim como para outras características, os resultados referentes a alterações de cor em frutos de tomate provenientes de plantas enxertadas são variados, o que reforça a ideia de dependência da escolha e da compatibilidade entre os genótipos selecionados. Brajović et al. (2012) avaliaram o efeito da enxertia sobre a coloração, firmeza e composição de carotenóides em frutos de tomateiro e observaram o aumento de licopeno e da coloração vermelha durante o amadurecimento dos frutos de plantas enxertadas, atribuindo a isto, não apenas ao controle genético, mas também a regulação do porta-enxerto/enxerto e estágio de maturação dos frutos. Muito embora outros estudos não tenham evidenciado tais diferenças, ou ainda a redução de carotenóides (Mohammed et al., 2009; Krumbein & Schwarz, 2013).

A semelhança na coloração pode ser tratada como possibilidade de padronização na coloração dos frutos de Sweet Heaven para o mercado consumidor. Contudo, é a falta de padronização nos processos de amostragem dificulta as análises e comparações de dados colorimétricos em frutos. A dificuldade em se obter amostras homogêneas em relação a maturidade e ao desenvolvimento dos frutos pode gerar resultados enganosos ou inconsistentes (Kyriacou et al., 2017).

A qualidade do tomate é baseada em atributos externos (cor, tamanho, forma), físicos (textura ou firmeza) e na composição química do fruto (açúcares, ácidos, compostos voláteis, carotenóides, vitaminas, minerais, entre outros). Normalmente, a avaliação da qualidade acontece após a colheita, mas ela é dependente das interações entre o genótipo, ambiente e manejo ($G \times A \times M$) ao longo de todo o crescimento e desenvolvimento da planta. Dessa forma, entender as correlações entre a produtividade e os parâmetros de qualidade tem sido o objetivo de ecofisiologistas para o desenvolvimento de estratégias no manejo das culturas (Bertin & Génard, 2018).

As plantas de Sweet Heaven, autoenxertadas e com FOX4 como porta-enxerto, produziram frutos com parâmetros de qualidade semelhantes aos de plantas sem enxertia (SH pé-franco). Ressalta-se que, apesar de não terem promovido melhorias na qualidade também não influenciaram negativamente (Tabela 5).

A enxertia de Sweet Heaven em FOX1 reduziu a firmeza, o pH da polpa e os SST dos frutos, em comparação com aqueles produzidos em pé-franco (Tabela 5). Por outro lado, as variáveis de acidez titulável e sabor não diferiram entre os tratamentos. Estas características, isoladamente ou em conjunto, podem influenciar na adoção deste porta-enxerto frente às particularidades e exigências do mercado de minitomates.

Davis et al. (2008) citam a incompatibilidade entre porta-enxerto e enxerto, como um fator capaz de afetar a qualidade dos frutos. Segundo os autores, a incompatibilidade pode induzir alterações no padrão de crescimento do enxerto (subcrescimento ou supercrescimento), dificultar o fluxo de água e nutrientes e afetar o desenvolvimento da planta como um todo. Diferenças de desenvolvimento do enxerto e do porta-enxerto, diferenças estruturais de tecidos, características fisiológicas e bioquímicas, produção de fitohormônios, ou mesmo condições ambientais podem ser causadores da incompatibilidade. Logo, em caso de incompatibilidade entre genótipos de tomateiro a enxertia não é indicada.

A variedade copa (enxerto) é a principal responsável pelos atributos de qualidade do fruto, porém os estudos sinalizam para uma grande diversidade de alterações promovidas pelo porta-enxerto. Existe uma grande variabilidade nos parâmetros de qualidade de frutos de tomateiro para o consumo *in natura*, sejam minitomates (cereja, grape, coquetel, mini-italiano e tomatoberry) ou de outros segmentos (Kavitha et al., 2014; Preczenhak et al., 2014). Diante disso, as combinações de porta-enxerto e enxerto devem ser cuidadosamente selecionadas para condições climáticas e geográficas específicas (Davis et al., 2008).

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros de qualidade: firmeza, acidez total da polpa, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT) e sabor de frutos de tomateiro Sweet Heaven, enxertados e não enxertados.

	Firmeza (N)	Acidez Total da polpa (pH)	SST (°Brix)	AT (% ácido cítrico)	Sabor (SST/AT)
FOX1/SH	18,36 b	4,05 b	7,04 b	0,545 ^{ns}	13,10 ^{ns}
FOX4/SH	19,90 ab	4,06 ab	7,32 ab	0,533	13,89
SH/SH	20,39 ab	4,10 a	7,37 ab	0,532	13,97
SH	21,42 a	4,10 a	7,55 ^a	0,539	14,17
C.V.	5,85	0,56	3,36	4,11	5,56

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo. C.V. = coeficiente de variação. Média de cinco avaliações.

Os porta-enxertos FOX1 e FOX4 tiveram comportamento distinto em relação aos atributos de qualidade de frutos. Enquanto FOX1/SH reduziu a firmeza, a acidez total da polpa e os sólidos solúveis totais, FOX4/SH produziu frutos com qualidade equivalente àqueles provenientes de pé-franco de Sweet Heaven (Tabela 5). Isto reforça as

informações de que diferentes porta-enxertos podem ter a capacidade de alterar a qualidade de fruto. Similarmente ao observado, estudos relacionados indicam variabilidade na qualidade de frutos de plantas enxertadas, incluindo efeitos benéficos e prejudiciais (Rouphael et al., 2010). Em alguns casos a qualidade do fruto de tomate foi reduzida (Pogonyi et al., 2005; Qaryouti et al., 2007) ou não foi alterada (Khah et al., 2006; Neocleous, 2010). Já Krumbein & Schwarz (2013) estudaram o efeito da enxertia e do sombreamento sobre a qualidade de frutos de tomateiro e observaram redução na concentração de glicose e frutose e um aumento na acidez titulável dos frutos de plantas enxertadas, sob a condição de 50% de sombreamento. Os autores atribuíram estes resultados a incapacidade dos porta-enxertos em aumentar as concentrações de açúcares e a redução na fotossíntese causada pelo sombreamento. Neste trabalho não foram identificadas alterações na taxa de assimilação líquida de CO₂ (A) entre os tratamentos com o híbrido Sweet Heaven (em pé-franco, autoenxertado ou como enxerto) (Tabela 3), não sendo possível relacionar tal variável as alterações em STT.

Analisando o desempenho das plantas enxertadas com os híbridos FOX1 e FOX4, a similaridade na maioria dos resultados pode ser destacada. As variáveis de número de folhas, parâmetros de trocas gasosas, formato dos frutos, número de frutos por planta e por cacho, massa média de frutos, produção de frutos por planta, produtividade, a maioria dos parâmetros de cor, acidez titulável e sabor, não foram alteradas em comparação com aquelas observadas em plantas e frutos de Sweet Heaven em pé-franco. Algumas variações detectadas durante o desenvolvimento e produção de frutos não impactaram em reduções expressivas na produtividade, como por exemplo, a menor altura de plantas de FOX1/SH a partir dos 42 DAT, e menores taxas de pegamento de frutos do 3º e 5º cachos em FOX1/SH e FOX4/SH.

A combinação FOX1/SH, embora tenha obtido desempenho produtivo semelhante ao de SH e não alterado os parâmetros fotossintéticos, produziu frutos com tonalidades de vermelho e amarelo superiores e qualidade ligeiramente inferior, com reduções na firmeza, sólidos solúveis totais e redução no pH da polpa (maior acidez) o que pode comprometer sua adoção como porta-enxerto para Sweet Heaven. De maneira geral, as plantas de FOX4/SH obtiveram desempenho equivalente as de Sweet Heaven em pé-franco em todas as avaliações, com exceções para o diâmetro transversal de frutos (sem alteração no formato) e taxa de pegamento de frutos, que não impactaram no seu desempenho produtivo. Por consequência, este híbrido pode ser considerado promissor para ser utilizado como porta-enxerto de Sweet Heaven.

4.6 CONCLUSÃO

A enxertia com híbrido FOX4 não altera o desempenho produtivo, as trocas gasosas e a qualidade de frutos de Sweet Heaven. Portanto, este híbrido é um promissor material a ser utilizado como porta-enxerto visando o manejo da murcha de fusário em tomateiro.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A partir da obtenção de cinco híbridos intraespecíficos de *Solanum lycopersicum* com genitores contendo os genes de resistência às três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, foi possível selecionar dois deles resistentes às três raças do patógeno. Esta estratégia de trabalho se mostrou eficiente para a obtenção de genótipos com resistências de interesse, reduzindo a quantidade de cruzamentos e o tempo gasto para alcançar este objetivo.

A caracterização dos híbridos resistentes, FOX1 e FOX4, evidenciou a possibilidade de uso destes materiais como porta-enxertos, pela ausência de características produtivas de destaque. Diante disso, FOX1 e FOX4, foram utilizados como porta-enxertos de uma cultivar de tomate cereja (Sweet Heaven), em razão da falta de cultivares resistentes à murcha de fusário neste seguimento.

Avaliações em raízes e folhas aos 20 dias após a enxertia, e de folhas aos 70 dias após a enxertia foram capazes de evidenciar alterações em fitohormônios relacionados ao crescimento, desenvolvimento e estresses causados pela enxertia. Foi possível sugerir por meio destas análises a compatibilidade entre os híbridos, FOX1 e FOX4, e a cultivar copa Sweet Heaven. De maneira geral, a combinação FOX1/SH apresenta níveis alterados de fitohormônios como o ácido salicílico (AS), ácido abscísico (ABA) e citocinina (zeatina), em comparação com os observados em plantas não enxertadas de Sweet Heaven. Com destaque para ácido abscísico, em que a concentração foi elevada em folhas de FOX1/SH, aos 70 dias após a enxertia, sugerindo a manifestação de algum estresse imperceptível visualmente e indicando certa incompatibilidade entre os materiais. Por outro lado, em FOX4/SH, a concentração deste fitohormônio indicou melhor compatibilidade. Assim sendo, realizar avaliações de fitohormônios em plantas enxertadas pode auxiliar na identificação de estresses causados pela enxertia e que podem comprometer a compatibilidade entre enxerto e porta-enxerto. Contudo, por se tratar de um procedimento ainda pouco explorado, é necessário o estudo da compatibilidade dos materiais em condições de cultivo para analisar a viabilidade de interpretações a partir deste tipo de análise.

O desempenho dos híbridos FOX1 e FOX4 como porta-enxertos de tomate cereja, tendo como cultivar copa o híbrido Sweet Heaven foi semelhante. Não foram detectadas alterações nas trocas gasosas em função da enxertia, aos 30, 60 e 90 dias após o transplante das mudas. A maioria das variáveis relacionadas a cor, qualidade e

produtividade, também quase não foram influenciadas pela enxertia. No entanto, reduções na firmeza de frutos, no pH da polpa e, principalmente a redução nos sólidos solúveis totais (SST - °Brix) encontradas em frutos oriundos de FOX1/SH, podem comprometer a adoção do híbrido FOX1 como porta-enxerto de Sweet Heaven, em razão da alta exigência do mercado de tomates cereja. Já as plantas de Sweet Heaven enxertadas no híbrido FOX4 (FOX4/SH), obtiveram desempenho produtivo e de qualidade de frutos equivalentes as de Sweet Heaven em pé-franco. Tais resultados, destacam um grande potencial deste híbrido como porta-enxerto de tomate cereja, visando o manejo da murcha de fusário com a possibilidade de se atingir altos patamares de produção sem comprometer a qualidade dos frutos.

O fato de o desempenho do híbrido FOX1 ter sido comprometido pela redução de alguns parâmetros de qualidade dos frutos é indicativo de menor compatibilidade com Sweet Heaven. Ao passo que, o híbrido FOX4, que apresentou resposta de imunidade frente a mistura das três raças de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e boa compatibilidade com Sweet Heaven, pode ser utilizado como porta-enxerto visando o manejo da murcha de fusário em áreas infectadas com as diferentes raças do patógeno.

6. REFERÊNCIAS

- Alexander, L. J.; Hoover, M. M. **Disease resistance in wild species of tomato**. Wooster: Ohio Agricultural Research and Development Center, 76 p, 1955.
- Aloni, B.; Cohen, R.; Karni, L.; Aktas, H.; Edelstein, M. Hormonal signaling in rootstock-scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 119-126, 2010.
- Asahina, M.; Azuma, K.; Pitaksaringkarn, W.; Yamazaki, T.; Mitsuda, N.; Ohme-Takagi, M.; Yamaguchi, S.; Kamiya, Y.; Okada, K.; Nishimura, T.; Koshihara, T.; Yokota, T.; Kamada, H.; Satoh, S. Spatially selective hormonal control of RAP2.6L and ANAC071 transcription factors involved in tissue reunion in *Arabidopsis*. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 38, p. 16128–16132, 2011.
- Barboza, E. A.; Cabral, C. S.; Gonçalves, A. M.; Reis, A.; Fonseca, M. E. D. N.; Boiteux, L. S. Identification of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 Infecting Tomatoes in Northeast Brazil. **Plant Disease**, v. 97, n. 3, p. 422, 2013.
- Bergougnoux, V. The history of tomato: From domestication to biopharming. **Biotechnology Advances**, v. 32, n. 1, p. 170-189, 2014.
- Bertin, N.; Génard, M. Tomato quality as influenced by preharvest factors. **Scientia Horticulturae**, v. 233, p. 264–276, 2018.
- Bonh, G. W.; Tucker, C. M. Studies on Fusarium wilt of the tomato. I. Immunity in *Lycopersicon pimpinellifolium* Mill, and its inheritance in hybrids. **Research Bulletin Missouri Agricultural Experiment Station**, v. 311, p. 82, 1940.
- Brajović, B.; Kastelec, D.; Širčelj, H.; Kacjan Maršić, N. The effect of scion/rootstock combination and ripening stage on the composition of carotenoids and some carpometric characteristics of tomato fruit. **European Journal of Horticultural Science**, v. 77, n. 6, p. 261–271, 2012.
- Brasil. Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária. Portaria nº553, de 30 de agosto de 1995. Dispõe sobre as características de identidade, qualidade, acondicionamento e embalagem do tomate “in natura”, para fins de comercialização. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 1995.

Cai, G.; Gale, L. R.; Schneider, R. W.; Kistler, H. C.; Davis, R. M.; Elias, K. S.; Miyao, E. M. Origin of race 3 of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* at a single site in California. **Phytopathology**, v. 93, n. 8, p. 1014–1022, 2003.

Davis, A. R.; Perkins-Veazie, P.; Hassell, R.; Levi, A.; King, S. R.; Zhang, X. Grafting effects on vegetable quality. **HortScience**, v. 43, n. 6, p. 1670–1672, 2008.

Davis, R. M.; Kimble, K. A.; Farrar, J. J. A third race of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* identified in California. **Plant Disease**, v. 72, n. 5, p. 453, 1988.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations Faostat**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/>>. Acesso em: 03/03/2018.

Ferreira, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039–1042, 2011.

Filho, R. C. **Detecção de resistência a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e biocontrole da murcha de fusário em tomateiro com *Bacillus* sp.** 2014. 91 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitossanidade), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

Finkelstein, R. Abscisic Acid Synthesis and Response. **The Arabidopsis Book**, v. 11, e0166, 2013.

Flores, F. B.; Sanchez-Bel, P.; Estañ, M. T.; Martinez-Rodriguez, M. M.; Moyano, E.; Morales, B.; Campos, J. F.; Garcia-Abellán, J. O.; Egea, M. I.; Fernández-García, N.; Romojaro, F.; Bolarín, M. C. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v. 125, n. 3, p. 211–217, 2010.

Fraser, P. D.; Truesdale, M. R.; Bird, C. R.; Schuch, W.; Bramley, P. M. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (evidence for tissue-specific gene expression). **Plant Physiology**, v. 105, n. 1, p. 405–413, 1994.

Fredes, A.; Roselló, S.; Beltrán, J.; Cebolla-Cornejo, J.; Pérez-de-Castro, A.; Gisbert, C.; Picó, M. B. Fruit quality assessment of watermelons grafted onto citron melon rootstock. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1646–1655, 2017.

Galli, F.; Carvalho, P. C. T.; Tokeshi, H.; Balmer, F.; Kimati, H.; Cardoso, C. O.; Salgado, C. L.; Krugner, T. L.; Cardoso, E. J. B. N.; Bergamin, F. A. **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres, v. 2, 587 p, 1980.

Gawehns, F.; Houterman, P. M.; Ichou, F. A.; Michielse, C. B.; Hijdra, M.; Cornelissen, B. J. C.; Rep, M.; Takken, F. L. W. The *Fusarium oxysporum* effector Six6 contributes to virulence and suppresses I-2 mediated cell death. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 27, n. 4, p. 336–348, 2014.

Gonçalves, A. M. **Diversidade de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* e desenvolvimento e validação de marcadores moleculares ligados a genes de resistência em tomateiro**. 2015. 121 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

González, J. El injerto en hortalizas. In: Vilarnau, A.; González, J. (Ed.). **Planteles: semilleros, viveros**. Reus: Ediciones de Horticultura, 1999. p. 121-128.

Grattidge, R.; O'Brien, R. G. Occurrence of a third race of *Fusarium* wilt of tomatoes in Queensland. **Plant Disease**, v. 66, n. 2, p. 165–166, 1982.

Guan, W.; Zhao, X.; Huber, D. J. Grafting with an interspecific hybrid squash rootstock accelerated fruit development and impaired fruit quality of galia melon. **HortScience**, v. 50, n. 12, p. 1833–1836, 2015.

Hartmann, H. T.; Kester, D. E.; Davies Jr, F. T.; Geneve, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. New Jersey: Prentice Hall, 8 ed, 915 p, 2011.

He, Y.; Zhu, Z.; Yang, J.; Ni, X.; Zhu, B. Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity. **Environmental and Experimental Botany**, v. 66, n. 2, p. 270–278, 2009.

Hoyos, E. P. Influencia de diferentes porta-injertos sobre la producción de pepino corto tipo español, cultivado em invernadero em la zona central española. **Horticultura Argentina**, v. 19, n. 46, p. 41, 2000.

Irriplus. **Sistema para Manejo de Irrigação**, Versão 2.25: UFV/GESAI/CIENTEC, Viçosa, 2008.

Jacobs, A.; Govender, R.; Van Heerden, S. W. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 causing tomato wilt in South Africa. **Australasian Plant Disease Notes**, v. 8, n. 1, p. 145–147, 2013.

Janda, T.; Gondor, O. K.; Yordanova, R.; Szalai, G.; Pál, M. Salicylic acid and photosynthesis: signalling and effects. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 36, n. 10, p. 2537-2546, 2014.

- Kavitha, P.; Shivashankara, K. S.; Rao, V. K.; Sadashiva, A. T.; Ravishankar, K. V.; Sathish, G. J. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 5, p. 993–999, 2014.
- Khah, E. M.; Kakava, E.; Mavromatis, A.; Chachalis, D.; Goulas, C. Effect of grafting on growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse and open-field. **Journal of Applied Horticulture**, v. 8, n. 1, p. 3–7, 2006.
- Khah, E. M.; Katsoulas, N.; Tchamitchian, M.; Kittas, C. Effect of grafting on eggplant leaf gas exchanges under mediterranean greenhouse conditions. **International Journal of Plant Production**, v. 5, n. 2, p. 121–134, 2011.
- King, S. R.; Davis, A. R.; Liu, W.; Levi, A. Grafting for disease resistance. **HortScience**, v. 43, n. 6, p. 1673–1676, 2008.
- Krumbein, A.; Schwarz, D. Grafting: A possibility to enhance health-promoting and flavour compounds in tomato fruits of shaded plants? **Scientia Horticulturae**, v. 149, p. 97–107, 2013.
- Kumar, P.; Rouphael, Y.; Cardarelli, M.; Colla, G. Vegetable Grafting as a Tool to Improve Drought Resistance and Water Use Efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 1130, 2017.
- Kunwar, S.; Paret, M. L.; Olson, S. M.; Ritchie, L.; Rich, J. R.; Freeman, J.; McAvoy, T. Grafting Using Rootstocks with Resistance to *Ralstonia solanacearum* Against *Meloidogyne incognita* in Tomato Production. **Plant Disease**, v. 99, n. 1, p. 119–124, 2015.
- Kuramae, E. E.; Souza, N. L. Variabilidade genética entre *formae speciales* de *Fusarium oxysporum* e raças 1 e 2 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* através de RAPD e sequências de regiões ITS e rDNA. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1481–1485, 2002.
- Kurozawa, C.; Pavan, M. A. P. Doenças do tomateiro. In: Kimati, H.; Amorim, L.; Bergamin Filho, A.; Camargo, L. E. A.; Rezende, J. A. M. (Ed.). **Manual de Fitopatologia: doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Agronômica Ceres. v. 2, 4ed., 2005. p. 607-626.

- Kyriacou, M. C.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Zrenner, R.; Schwarz, D. Vegetable Grafting: The Implications of a Growing Agronomic Imperative for Vegetable Fruit Quality and Nutritive Value. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 741, 2017.
- Lee, J. M.; Bang, H. J.; Ham, H. S. Quality of cucumber fruit as affected by rootstock. **Acta Horticulturae**, v. 483, p. 117–123, 1999.
- Leslie, J. F.; Summerell, B. A. **The *Fusarium* Laboratory Manual**. Blackwell Publishing, 388 p, 2007.
- Lin, Z.; Zhong, S.; Grierson, D. Recent advances in ethylene research. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n. 12, p. 3311–3336, 2009.
- Liu, L. H.; Zabarás, D.; Bennett, L. E.; Aguas, P.; Woonton, B. W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, n. 2, p. 495–500, 2009.
- Liu, S.; Li, H.; Lv, X.; Ahammed, G. J.; Xia, X.; Zhou, J.; Shi, K.; Asami, T.; Yu, J.; Zhou, Y. Grafting cucumber onto luffa improves drought tolerance by increasing ABA biosynthesis and sensitivity. **Scientific Reports**, v. 6, 20212, 2016.
- Long, W.; Li, Y.; Zhou, W.; Ling, H. Q.; Zheng, S. Sequence-based SSR marker development and their application in defining the introgressions of LA0716 (*Solanum pennellii*) in the background of cv. M82 (*Solanum lycopersicum*). **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, e81091, 2013.
- Lopes, C. A.; Ávila, A. C. **Doenças do tomateiro**. Embrapa Hortaliças, Brasília, v. 2, 152 p, 2005.
- Lopes, C. A.; Santos, J. R. M. **Doenças do tomateiro**. Embrapa - CNPH/SPI, Brasília, 67 p, 1994.
- Lopes, C. A.; Reis, A. **Doenças do tomateiro cultivado em ambiente protegido**. Circular técnica 100, Embrapa Hortaliças, Brasília, 17 p, 2011.
- Ma, L. J.; Geiser, D. M.; Proctor, R. H.; Rooney, A. P.; O'Donnell, K.; Trail, F.; Gardiner, D. M.; Manners, J. M.; Kazan, K. *Fusarium* pathogenomics. **Annual Review of Microbiology**, v. 67, p. 399–416, 2013.

- Martínez-Ballesta, M. C.; Alcaraz-López, C.; Muries, B.; Mota-Cadenas, C.; Carvajal, M. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 112-118, 2010.
- McGrath, D. J.; Gillespie, D.; Vawdrev, L. Inheritance of resistance to *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* races 2 and 3 in *Lycopersicon pennellii*. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 38, n. 4, p. 729–733, 1987.
- Mohammed, S. M. T.; Humidan, M.; Boras, M.; Abdalla, O. A. Effect of grafting tomato on different rootstocks on growth and productivity under glasshouse conditions. **Asian Journal of Agricultural Research**, v. 3, n. 2, p. 47–54, 2009.
- Mudge, K.; Janick, J.; Scofield, S.; Goldschmidt, E. E. A History of Grafting. **Horticultural Reviews**, v. 35, p. 437–493, 2009.
- Müller, M.; Munné-Bosch, S. Rapid and sensitive hormonal profiling of complex plant samples by liquid chromatography coupled to electrospray ionization tandem mass spectrometry. **Plant Methods**, v. 7, 37, 2011.
- Nanda, A. K.; Melnyk, C. W. The role of plant hormones during grafting. **Journal of Plant Research**, v. 131, n. 1, p. 49–58, 2018.
- Nelson, P. E. Life Cycle and Epidemiology of *Fusarium oxysporum*. In: Mace, M. E.; Bell, A. A.; Beckman, C. H. (Ed.). **Fungal Wilt Diseases of Plants**. Academic Press, 1981. p. 51–80.
- Neocleous, D. Yield, nutrients, and antioxidants of tomato in response to grafting and substrate. **International Journal of Vegetable Science**, v. 16, n. 3, p. 212–221, 2010.
- Peil, R. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1169–1177, 2003.
- Pereira, I. S. **Incompatibilidade de enxertia em *Prunus*, alterações fenotípicas, bioquímicas e gênicas**. 2012. 160 p. Tese (Doutorado em Fruticultura de Clima Temperado), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão, 2012.
- Pereira, I. S.; Fachinello, J. C.; Antunes, L. E. C.; Campos, Â. D.; Pina, A. Incompatibilidade de enxertia em *Prunus*. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1519–1526, 2014.

- Pina, A.; Errea, P. A review of new advances in mechanism of graft compatibility-incompatibility. **Scientia Horticulturae**, v. 106, n. 1, p. 1-11, 2005.
- Pina, A.; Errea, P.; Martens, H. J. Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. **Scientia Horticulturae**, v. 143, p. 144–150, 2012.
- Pogonyi, Á.; Pék, Z.; Helyes, L.; Lugasi, A. Effect of grafting on the tomato's yield, quality and main fruit components in spring forcing. **Acta Alimentaria**, v. 34, n. 4, p. 453–462, 2005.
- Preczenhak, A. P.; Resende, J. T.; Chagas, R. R.; Silva, P. R.; Schwarz, K.; Morales, R. G. Caracterização Agronômica de genótipos de minitomates. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 348–356, 2014.
- Qaryouti, M. M.; Qawasmi, W.; Hamdan, H.; Edwan, M. Tomato fruit yield and quality as affected by grafting and growing system. **Acta Horticulturae**, v. 741, p. 199–206, 2007.
- Reis, A.; Boiteux, L. S. Outbreak of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 in commercial fresh-market tomato fields in Rio de Janeiro State, Brazil. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 451–454, 2007.
- Reis, A.; Costa, H.; Boiteux, L. S.; Lopes, C. A. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 3 on tomato in Brazil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 4, p. 426–428, 2005.
- Reis, A.; Giordano, L. B.; Lopes, C. A.; Boiteux, L. S. Novel sources of multiple resistance to three races of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in *Lycopersicon* germplasm. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 4, n. 1, p. 495-502, 2004.
- Reis, A.; Lopes, C. A. Principais fungos de solo em hortaliças: Epidemiologia e manejo. In: Zambolim, L.; Lopes, C. A.; Picanço, M. C.; Costa, H. (Ed.). **Manejo integrado de doenças e pragas: Hortaliças**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 189-224.
- Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez, V. V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5ª Aproximação**. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 359 p, 1999.

- Riga, P. Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. **Horticulture Environment and Biotechnology**, v. 56, n. 5, p. 626–638, 2015.
- Rouphael, Y.; Schwarz, D.; Krumbein, A.; Colla, G. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 172–179, 2010.
- San Bautista, A.; Calatayud, A.; Nebauer, S. G.; Pascual, B.; Maroto, J. V.; López-Galarza, S. Effects of simple and double grafting melon plants on mineral absorption, photosynthesis, biomass and yield. **Scientia Horticulturae**, v. 130, n. 3, p. 575–580, 2011.
- Santos Júnior, W. N.; Carvalho, M. R. M.; Cabral, C. S.; Reis, A. **Seleção de Híbridos e Acessos de Tomate para Resistência a *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* Raça 3**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, Embrapa Hortaliças, Brasília, 19 p, 2009.
- Santos, H. S. **Marcha de absorção de nutrientes em plantas de pimentão (*Capsicum annum*, L.) enxertadas em porta enxertos resistentes a patógenos de solo**. 2005. 112 p. Tese (Doutorado em Agronomia/Horticultura), Faculdade de Ciência Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- Santos, J. R. M. **Methodology for screening tomato for *Fusarium* Wilt, *Verticillium* Wilt, Gray Leaf Spot, Early Blight and *Septoria* Leaf Blight**. International Symposium on Tropical Tomato Disease, 1997.
- Savvas, D.; Savva, A.; Ntatsi, G.; Ropokis, A.; Karapanos, I.; Krumbein, A.; Olympios, C. Effects of three commercial rootstocks on mineral nutrition, fruit yield, and quality of salinized tomato. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 174, n. 1, p. 154–162, 2011.
- Schaller, G. E.; Bishopp, A.; Kieber, J. J. The Yin-Yang of Hormones: Cytokinin and Auxin Interactions in Plant Development. **The Plant Cell Online**, v. 27, n. 1, p. 44–63, 2015.
- Schouten, R. E.; Huijben, T. P. M.; Tijskens, L. M. M.; van Kooten, O. Modelling quality attributes of truss tomatoes: Linking colour and firmness maturity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 298–306, 2007.

Schwarz, D.; Öztekin, G. B.; Tüzel, Y.; Brückner, B.; Krumbein, A. Rootstocks can enhance tomato growth and quality characteristics at low potassium supply. **Scientia Horticulturae**, v. 149, p. 70–79, 2013.

Schwarz, D.; Rouphael, Y.; Colla, G.; Venema, J. H. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. **Scientia Horticulturae**, v. 127, n. 2, p. 162-171, 2010.

Sela-Buurlage, M. B.; Budai-Hadrian, O.; Pan, Q.; Carmel-Goren, L.; Vunsch, R.; Zamir, D.; Fluhr, R. Genome-wide dissection of *Fusarium* resistance in tomato reveals multiple complex loci. **Molecular Genetics and Genomics**, v. 265, n. 6, p. 1104–1111, 2001.

Serciloto, C. M. **Fixação e desenvolvimento de frutos do tangor “Murcote” (*Citrus reticulata* Blanco x *Citrus sinensis* L. Osbeck) e da lima ácida “Tahiti” (*Citrus latifolia* Tanaka) com a utilização de biorreguladores**. 2001. 100 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

Simões, A. C.; Alves, G. E. B.; Ferreira, R. L. F.; Araújo Neto, S. E.; Rocha, J. F. Compatibilidade de tomateiro sob diferentes portaenxertos e métodos de enxertia em sistema orgânico. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 961–972, 2014.

Song, J. T.; Lu, H.; McDowell, J. M.; Greenberg, J. T. A key role for ALD1 in activation of local and systemic defenses in *Arabidopsis*. **Plant Journal**, v. 40, n. 2, p. 200–212, 2004.

Stravato, V. M.; Buonauro, R.; Cappelli, C. First report of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* race 2 on tomato in Italy. **Plant Disease**, v. 83, n. 10, p. 967, 1999.

Tamari, K.; Kaji, J. Studies on the mechanism of the growth inhibitory action of fusaric acid on plants. **The Journal of Biochemistry**, v. 41, n. 2, p. 143-165, 1954.

TGRC – **Tomato Genetics Resource Center**. Disponível em: <<http://tgrc.ucdavis.edu/Data/Acc/dataframe.aspx?start=AccSearch.aspx>>. Acesso em: 13/01/2018.

Tokeshi, H.; Galli, F. Variabilidade de *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* (WR) Sny & Hans em São Paulo. **Anais Da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, v. 23, n. 1, p. 195–209, 1966.

- Tuberosa, R.; Sanguineti, M. C.; Landi, P. Abscisic acid concentration in leaf and xylem sap, leaf water potential, and stomatal conductance in maize. **Crop Science**, v. 34, n. 6, p. 1557–1563, 1994.
- Turhan, A.; Ozmen, N.; Serbeci, M. S.; Seniz, V. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. **Horticultural Science**, v. 38, n. 4, p. 142–149, 2011.
- Valenzuela-Ureta, J. G.; Lawn, D. A.; Heisey, R. F.; Zamudionaloa, V. First report of Fusarium wilt race 3, caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* of tomato in México. **Plant Disease**, v. 80, p. 105, 1996.
- Vishwakarma, K.; Upadhyay, N.; Kumar, N.; Yadav, G.; Singh, J.; Mishra, R. K.; Kumar, V.; Verma, R.; Upadhyay, R. G.; Pandey, M.; Sharma, S. Abscisic Acid Signaling and Abiotic Stress Tolerance in Plants: A Review on Current Knowledge and Future Prospects. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, 161, 2017.
- Volin, R. B.; Jones, J. P. A New Race of Fusarium Wilt of Tomato in Florida and Sources of Resistance. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 95, p. 268–270, 1982.
- Wilkinson, S.; Kudoyarova, G. R.; Veselov, D. S.; Arkhipova, T. N.; Davies, W. J. Plant hormone interactions: innovative targets for crop breeding and management. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 9, p. 3499–3509, 2012.
- Yabuuchi, E.; Kosako, Y.; Yano, I.; Hotta, H.; Nishiuchi, Y. Transfer of Two *Burkholderia* and An *Alcaligenes* Species to *Ralstonia* Gen. Nov. **Microbiology and Immunology**, v. 39, n. 11, p. 897–904, 1995.
- Yin, H.; Yan, B.; Sun, J.; Jia, P.; Zhang, Z.; Yan, X.; Chai, J.; Ren, Z.; Zheng, G.; Liu, H. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. **Journal of Experimental Botany**, v. 63, n. 11, p. 4219–4232, 2012.
- Zeist, A. R. **Características agronômicas e fisiológicas de tomateiro em função de porta-enxertos e métodos de enxertia**. 2015. 96 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2015.

Zeist, A. R.; Resende, J. T. V.; Silva, I. F. L.; Oliveira, J. R. F.; Faria, C. M. D. R.; Giacobbo, C. L. Agronomic characteristics of tomato plant cultivar Santa Cruz Kada grafted on species of the genus *Solanum*. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 419–424, 2017.

Zhang, W.; Thieme, C. J.; Kollwig, G.; Apelt, F.; Yang, L.; Winter, N.; Andresen, N.; Walther D.; Kragler, F. tRNA-related sequences trigger systemic mRNA transport in plants. **The Plant Cell**, v. 28, n. 6, p. 1237–1249, 2016.