

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar



Tese

Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em cultivo sem solo

Lais Perin

Pelotas, 2021

Lais Perin

Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em cultivo sem solo

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Roberta Marins Nogueira Peil

Coorientadores: Prof. Dr. Paulo Roberto Grolli e Prof. Dr. Roberto Trentim

Pelotas, 2021

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

P445f Perin, Lais

Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em cultivo sem solo / Lais Perin ; Roberta Marins Nogueira Peil, orientadora ; Paulo Roberto Grolli, Roberto Trentin, coorientadores. — Pelotas, 2021.

122 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2021.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Estresse abiótico. 3. Limiar de radiação solar. 4. Porta-enxerto. 5. Sistema fechado de cultivo. I. Peil, Roberta Marins Nogueira, orient. II. Grolli, Paulo Roberto, coorient. III. Trentin, Roberto, coorient. IV. Título.

CDD : 635.642

Lais Perin

Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em cultivo sem solo

Tese aprovada, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 24 de fevereiro de 2021.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Roberta Marins Nogueira Peil - UFPel
Doutor em Agronomia pela Universidade de Almería

Prof. Dr. Arno Bernardo Heldwein - UFSM
Doutor em Agronomia pela Universidade Técnica de Berlin

Prof. Dr. Pedro Roberto Furlani - UFC
Doutor em Agronomia pela Universidade de Nebraska

Prof. Dr^a. Tatiana da Silva Duarte - UFRGS
Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas

**Dedico este trabalho à Deus por permitir que
chegasse até aqui. Ao meu esposo,
Eduardo, pelo companheirismo, paciência e
incentivo em todos os momentos. Aos meus
pais, meu irmão e demais familiares por
todo apoio e incentivo.**

Agradecimentos

Ao Senhor Deus, por guiar e abençoar meus passos todos os dias.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de participar do PPG em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, para a obtenção do grau de Doutor^a.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Santo e Lourdes, pelo apoio incondicional desde o início dos meus estudos, pela confiança, ensinamentos, valores, e por todo trabalho árduo para que eu pudesse aqui chegar.

Ao meu Irmão Luciano, pelo apoio, amizade, incentivo e cumplicidade.

Ao meu esposo Eduardo, por todo o carinho, amor, apoio e incentivo incondicional, cumplicidade, compreensão e paciência. O seu companheirismo foi muito importante para chegar até aqui.

A todos os meus amigos e familiares, que sempre me apoiaram.

À professora Roberta Marins Nogueira Peil pela sua orientação desde a graduação, amizade, ensinamentos compartilhados, por acreditar em minha capacidade profissional e desenvolvimento pessoal.

Ao professor Paulo Roberto Grolli pela co-orientação, pela amizade, apoio, incentivo e companheirismo desde o início da graduação.

Ao professor Roberto Trentin pela co-orientação, disponibilidade, atenção e amizade.

Aos professores do programa de pós-graduação, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas e estagiários da área de pesquisa em Cultivo sem solo, por toda sua ajuda e apoio, até mesmo abdicando de suas tarefas para me ajudar e apoiar. Pela sua companhia, parceria, e acima de tudo pela amizade.

Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te esforço e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.

Isaías 41:10

Resumo

PERIN, Lais. **Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em cultivo sem solo**. Orientadora: Roberta Marins Nogueira Peil. 2021. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

A enxertia em hortaliças tem crescido consideravelmente e tem sido uma alternativa de manejo para superação de condições adversas de cultivo no solo, indo além de apenas conferir resistência a patógenos de solo, pois também é utilizada para superação de estresses abióticos. Neste sentido, a enxertia pode ser uma aliada no cultivo sem solo, pois, segundo experiências de produtores, a técnica, além de assegurar maior vigor, pode conferir as plantas enxertadas maior capacidade de absorção de água e de nutrientes minerais, e aumentar a longevidade das plantas. Consequentemente, as plantas enxertadas podem ser conduzidas com duas hastes mantendo os mesmos ou melhores resultados produtivos que plantas não enxertadas de haste única por unidade de área. Esta tese busca sanar alguns questionamentos sobre o comportamento de plantas enxertadas de tomateiro em sistemas de cultivo sem solo, visto que, os estudos são praticamente inexistentes, não havendo evidências científicas suficientes que comprovem sua superioridade produtiva. Além disso não foram encontrados trabalhos que avaliem aspectos fisiológicos das plantas enxertadas frente a plantas não enxertadas. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo aferir o efeito da enxertia e do número de hastes sobre o crescimento, aspectos fisiológicos, e absorção de nutrientes minerais de plantas de tomateiro, assim como avaliar a produtividade e a qualidade dos frutos em sistemas de cultivo sem solo sob condições adequadas de temperatura e luminosidade e sob restrição. Os trabalhos foram conduzidos em sistema de cultivo em substrato de casca de arroz *in natura*, carbonizada e aeroponia. As variáveis analisadas foram quanto ao crescimento das plantas (número de folhas, índice de área foliar, comprimento do caule, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total), quanto aos aspectos fisiológicos (taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração, concentração intercelular de CO₂, e absorção de nutrientes), e quanto a produção (número, massa média de frutos, produção, produtividade, concentração de sólidos solúveis e dimensões dos frutos). De maneira geral, as plantas enxertadas apresentam maior crescimento vegetativo e radicular do que as plantas não enxertadas, independentemente da cultivar empregada e da safra de cultivo. A enxertia pode apresentar resultados produtivos positivos, indiferentes e negativos em função das cultivares utilizadas e da interação entre enxerto e porta-enxerto, do manejo empregado, da época do ano e duração dos ciclos de cultivo, sendo que na maioria dos experimentos, as plantas enxertadas apresentaram maior produção e massa média de frutos frente às plantas não enxertadas. A qualidade dos frutos, expressa em °Brix não foi afetada pela enxertia. Plantas conduzidas em haste única são mais produtivas. O fator enxertia não afetou as variáveis fisiológicas. Enquanto a forma de condução em haste única apresentou maior condutância estomática do que as conduzidas com duas hastes. Assim como estas plantas também apresentam

maior crescimento vegetativo e produção de frutos, além de absorverem mais nutrientes que as plantas conduzidas com duas hastes que apenas se destacam por apresentar sistema radicular mais desenvolvido.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum*; estresse abiótico; limiar de radiação solar; porta-enxerto; sistema fechado de cultivo.

Abstract

PERIN, Lais. **Physiology of tomato production grafted on soilless grown.** Orientadora: Roberta Marins Nogueira Peil. 2021. 122 f. Tese (Doctorate degree in Agronomy) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2021.

Grafting on vegetables has grown considerably and has been a management alternative for overcoming adverse soil cultivation conditions, going beyond just conferring resistance to soil pathogens, as it is also used to overcome abiotic stresses. In this sense, grafting can be an ally on soilless grown, because, according to the experiences of producers, the technique, in addition to ensuring greater vigor, can give the grafted plants greater capacity for absorbing water and mineral nutrients, and increase the longevity of the plants. Consequently, grafted plants can be carried out with two stems maintaining the same or better productive results than single-grafted non-grafted plants per unit area. This thesis seeks to answer some questions about the behavior of grafted tomato plants in soilless grown systems, since the studies are practically non-existent, with insufficient scientific evidence to prove their productive superiority. In addition, no studies were found to assess physiological aspects of grafted plants compared to non-grafted plants. Thus, this work aims to assess the effect of grafting and the number of stems on growth, physiological aspects, and absorption of mineral nutrients from tomato plants, as well as to evaluate fruit productivity and quality in soilless grown systems under appropriate conditions of temperature and light and under restriction. The experiments were carried out in a cultivation system in substrate of raw rice husk, carbonized and aeroponics. The variables analyzed were as to plant growth (number of leaves, leaf area index, stem length, shoot dry matter, root dry matter and total dry matter), as to physiological aspects (photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration, intercellular CO₂ concentration, and nutrient absorption), and production (number, mean weight of fruits, production, productivity, concentration of soluble solids and fruit dimensions). In general, grafted plants show greater vegetative and root growth than non-grafted plants, regardless of the cultivar employed and the crop. The grafting can present positive, indifferent and negative productive results due to the cultivars used and the interaction between graft and rootstock, the management used, the time of year, and the duration of the cultivation cycles, in most of the experiments, the grafted plants showed higher production and mean weight of fruits compared to the non-grafted plants. Fruit quality, expressed in °Brix, was not affected by grafting. Plants driven on a single stem are more productive. The grafting factor did not affect the physiological variables. While the single-stem conduction showed greater stomatal conductance than those conducted with two stems. As well as these plants they also present greater vegetative growth and fruit production, in addition to absorbing more nutrients than the plants carried out with two stems that only stand out for presenting a more developed root system.

Keywords: *Solanum lycopersicum*; abiotic stress; closed grow system; rootstock; solar radiation threshold.

Lista de Figuras

Projeto de Pesquisa		21
Figura 1	Sistema de aeroponia para análise de consumo de água e extração de nutrientes minerais pelas plantas.....	32
Artigo I		46
Figura 1	Distribuição da colheita dos frutos ao longo do ciclo produtivo de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro, com variação no número de hastes, no cultivo em substrato de casca de arroz <i>in natura</i> . Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.....	58
Artigo II		67
Figura 1	Soma térmica de plantas de tomateiro enxertadas e não enxertadas, quantificada por fases de desenvolvimento em duas safras de cultivo em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.....	78
Figura 2	Valores médios diários de temperatura e de radiação solar global incidente no interior da estufa de cultivo e produção de massa seca dos diferentes órgãos das plantas de duas cultivares de tomateiro (Rally e Guará), enxertadas (B e D) e não enxertadas (A e C), em ciclo de cultivo de verão/inverno no ano de 2019, em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.....	79
Apêndices		117
Apêndice A	Sistema de cultivo em aeroponia.....	118
Apêndice B	Raízes do sistema de cultivo em aeroponia.....	118
Apêndice C	Sistema de cultivo em calhas.....	119
Apêndice D	Sistema de cultivo em vasos.....	119
Apêndice E	Muda enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).....	120
Apêndice F	Raiz aberta planta enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).....	120
Apêndice G	Raiz planta enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).....	121

Apêndice H	Abortamento de flores, frutos (esquerda) e má formação de frutos (direita).....	121
Apêndice I	Frutos de tomateiro com poucas ou nenhuma semente.....	122
Apêndice J	Comparação entre frutos com abortamento de embrião e normais de duas cultivares de tomateiro.....	122

Lista de Tabelas

Projeto de Pesquisa		21
Tabela 1	Material de consumo.....	37
Tabela 2	Diárias e passagens.....	37
Tabela 3	Serviços de terceiros.....	37
Tabela 4	Despesas de capital.....	37
Tabela 5	Orçamento Geral.....	38
Tabela 6	Atividades previstas para o ano de 2017.....	38
Tabela 7	Atividades previstas para o ano de 2018.....	38
Tabela 8	Atividades previstas para o ano de 2019.....	38
Tabela 9	Atividades previstas para o ano de 2020.....	38
Artigo I		46
Tabela 1	Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre o número de folhas, índice de área foliar (IAF), comprimento do caule, massa seca (MS) de frutos, vegetativa e total das plantas de tomateiro cultivadas em substrato de casca de arroz <i>in natura</i> . Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.....	55
Tabela 2	Interação dos fatores de tratamento enxertia e número de hastes por planta para as variáveis massa seca vegetativa e massa seca total das plantas de tomateiro em sistema de produção de calhas com substrato de casca de arroz <i>in natura</i> . Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.....	56
Tabela 3	Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre o número, produtividade, massa média e sólidos solúveis totais (SST) de frutos de tomateiro cultivado em substrato de casca de arroz <i>in natura</i> . Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.....	57
Artigo II		67

Tabela 1	Efeitos principais dos fatores cultivar e enxertia sobre a produção, massa média e seca dos frutos, sólidos solúveis totais (SST) e tamanho dos frutos de plantas de tomateiro em duas safras de cultivo em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.....	76
Tabela 2	Efeitos principais dos fatores cultivar e enxertia sobre o número de folhas, índice de área foliar (IAF), altura de planta, massa seca vegetativa, de raízes e total da planta de tomateiro em duas safras de cultivo, em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.....	77
Tabela 3	Média para os diferentes períodos de avaliação de radiação solar global incidente diária sobre a cultura (G_i), temperaturas do ar mínima (Mín), máxima (Máx) e média (Méd), massa seca (MS) total, incremento de massa seca (IMS), taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) de duas cultivares de tomateiro (Rally® e Guará®) enxertadas (E) e não enxertadas (NE), ao longo do ciclo de cultivo de verão/inverno no ano de 2019, na cidade de Jaguari/RS.....	81
Nota		91
Tabela 1	Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre a taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO_2 de plantas de tomateiro cultivado em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.....	101
Tabela 2	Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre a produção de massa seca de raízes (MSR), folhas (MSF), caules (MSC), frutos (MSFr) e total (MST), produtividade (P) e massa média dos frutos (MM), de tomateiro cultivado em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.....	102

Tabela 3	Extração de macro e micronutrientes em relação aos diferentes órgãos de plantas (Pl.) enxertadas e não enxertadas com condução em uma e duas hastes em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.....	103
Tabela 4	Efeito da enxertia e do número de hastes por planta na extração total de nutrientes minerais da cultura do tomateiro cultivado em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.....	104

Sumário

1	Introdução.....	16
2	Projeto de Pesquisa	22
2.1	Identificação	23
2.1.1	Instituição	23
2.1.2	Equipe.....	23
2.2	Antecedentes e Justificativa	24
2.3	Hipóteses	27
2.4	Objetivos e Metas	28
2.4.1	Objetivo Geral	28
2.4.2	Objetivos Específicos	28
2.4.3	Metas	28
2.5	Material e métodos	28
2.5.1	Plano de ação 1	29
2.5.2	Plano de ação 2	33
2.6	Recursos Necessários	36
2.7	Cronograma de Execução de Pesquisa.....	38
2.8	Divulgação Prevista	39
2.9	Referências Bibliográficas	39
3	Relatório do Trabalho de Campo	43
4	Artigo 1: A enxertia associada à condução com duas hastes beneficia o crescimento e a produção do tomateiro no cultivo em substrato?.....	46
	RESUMO.....	47
	1. INTRODUÇÃO	48

2. MATERIAL E MÉTODOS.....	50
3. RESULTADOS	54
4. DISCUSSÃO	59
5. CONCLUSÕES	64
AGRADECIMENTOS	64
REFERÊNCIAS	64
5 Artigo 2: Ecofisiologia da produção de plantas enxertadas e de pé franco de tomateiro cultivadas em substrato.....	67
RESUMO.....	68
1. INTRODUÇÃO	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	71
3. RESULTADOS	75
4. DISCUSSÃO	81
5. CONCLUSÕES	86
AGRADECIMENTOS	86
REFERÊNCIAS	86
6 Nota: Extração de nutrientes, aspectos fisiológicos e produtivos de plantas enxertadas de tomateiro conduzidas com uma e duas hastes	91
Resumo	91
Agradecimentos	99
Referências	99
7 Considerações Finais.....	105
Referências.....	107
Apêndices	117

1 Introdução

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae e tem como origem a região andina, do Equador até o Norte do Chile, onde crescia de forma espontânea (ALVARENGA, 2013). A cultura tem se destacado como uma das hortaliças de fruto mais produzidas no Brasil e no mundo. Além disso o tomate se destaca por seus atributos nutracêuticos, uma vez que os frutos possuem elevado teor de licopeno que é um importante antioxidante na prevenção do câncer, especialmente o de próstata (SOARES; FARIAS, 2012).

O cultivo do tomateiro é feito no campo e ambiente protegido, no solo ou em cultivo sem solo. Independentemente do ambiente ou do sistema de cultivo, a cultura enfrenta muitos desafios, incluindo estresses bióticos e abióticos (SINGH et al., 2017). Como forma de amenizar alguns problemas, a produção realizada no campo é feita, preferencialmente, em áreas novas ou em locais em que foi feita a prática de rotação de culturas, com vistas a diminuir a incidência de pragas e doenças. No entanto, no cultivo em ambiente protegido convencional, no solo, a prática de rotação de culturas é dificultada, ocorrendo problemas de salinidade e fertilidade do solo, aumento da incidência de patógenos de solo e de substâncias alelopáticas, que limitam o cultivo do tomateiro (FONTES et al., 2004).

Alguns problemas de doenças de diferentes raças fisiológicas, estirpes ou grupos de patógenos em uma área de cultivo podem ser solucionados ou amenizados com a utilização de variedades resistentes. Porém, esta alternativa de manejo possui limitações, pois a obtenção de novos materiais demanda tempo e investimentos onerosos. Dessa forma, a enxertia constituiu-se em uma alternativa de manejo com base na utilização de porta-enxertos resistentes (GOTO et al., 2003).

A enxertia surgiu como uma ferramenta de grande potencial para aumentar rapidamente a eficiência de genótipos de alto rendimento e para maior adaptabilidade ou resistência a diferentes tipos de estresse (KUMAR et al., 2017). Esta prática iniciou em plantas frutíferas há milhares de anos na China (SANTOS, 2003) e sua utilização em hortaliças é considerada uma técnica relativamente recente. No Brasil, os primeiros relatos de uso da enxertia foram na década de 1980 para o controle de nematoides e outras doenças (PEIL, 2003; SANTOS; GOTO, 2004). Em tomateiro, a enxertia visa aliar os fatores resistência de plantas, produtividade e qualidade de

frutos a fim de melhorar a produção em vários aspectos, propiciando maior retorno econômico ao produtor.

No Brasil, o principal objetivo do emprego de plantas enxertadas ainda vem a ser o de conferir à cultura do tomateiro resistência ou tolerância a patógenos de solo (PEIL, 2003). Por este motivo em cultivos sem solo (hidroponia ou em substrato) não haveria a necessidade da utilização de mudas enxertadas por ser um ambiente livre organismos causadores de doenças. Porém, muitos tem sido os relatos de produtores fazendo uso da enxertia no cultivo sem solo do tomateiro, com a alegação de que as plantas enxertadas apresentam aspecto visual de maior vigor, produtividade e longevidade frente às plantas de pé-franco em uma mesma condição de cultivo e recursos naturais.

Ao apresentar maior vigor, expresso em maior desenvolvimento da parte aérea e maior área foliar, possivelmente, as plantas enxertadas apresentem maior capacidade fotossintética que, por sua vez, pode levar a um ganho na produtividade de frutos (DJIDONOU et al., 2017). Em razão disso, as plantas enxertadas poderiam ser conduzidas com um maior número de hastes do que plantas não enxertadas, o que traria o benefício de reduzir os custos com a aquisição das mudas. Desta maneira, uma vez preservada a densidade de hastes por unidade de área cultivada, a condução de plantas enxertadas com duas hastes possibilitaria diminuir em 50% o número de plantas por unidade de área, porém, mantendo os patamares produtivos por área semelhantes aos das plantas conduzidas com haste única.

Por outro lado, em diversos países, o uso da enxertia vai além apenas do controle de patógenos e doenças, a prática vem sendo utilizada para a superação de condições ambientais adversas e controle de estresses abióticos. Diversos autores destacam a utilização da enxertia, com demonstração de resultados satisfatórios na produção e qualidade de frutos (NAWAZ et al., 2016; TURHAN et al., 2011; FLORES et al., 2010; LEE et al., 2010; ROUPHAEL et al., 2010; SCHWARZ et al., 2010). E muitos têm sido os trabalhos tratando sobre a superação de estresses como salinidade do solo (COLLA et al., 2013; ABDELMAGEED; GRUDA, 2009; ESTAÑ et al., 2005), altas e baixas temperaturas (MUNEER et al., 2016; MOHAMMED et al., 2009) condições hídricas de seca ou alagamento do solo (ALTUNLU; GUL, 2012; BHATT et al., 2015; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2013), alguns com resultados positivos e outros não, devido, principalmente, às características do porta-enxerto.

A justificativa utilizada para os melhores resultados das plantas enxertadas frente às plantas de pé-franco, está baseada no fato de que as plantas utilizadas como porta-enxertos são selecionadas pelo cruzamento de genótipos com características de tolerância a algum fator e por apresentarem sistema radicular mais desenvolvido e vigoroso, resistente a patógenos e tolerantes a diferentes condições ambientais adversas. Desta forma, podem oferecer maior aporte de água e nutrientes minerais à parte aérea, permitindo maior crescimento e desenvolvimento, incrementos de produção e melhorias na qualidade dos frutos. Por outro lado, os resultados insatisfatórios podem estar associados a incompatibilidade das partes enxertadas, formação de estruturas no calo que dificultem o transporte de água e nutrientes e a ausência de resistência e/ou tolerância do porta-enxerto para as condições testadas.

Na região sul do Brasil e em especial no Rio Grande do Sul (RS) as estações de outono e inverno são consideradas inóspitas para o cultivo do tomateiro, devido as baixas temperaturas, geadas frequentes e a baixa incidência de radiação solar. Contudo é neste período, que os preços são superiores aos normalmente praticados nas estações de primavera e verão. Portanto, para uma cultura que não tolera condições extremas, o cultivo em ambiente protegido é indispensável e tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, tanto que o tomate é uma das hortaliças mais cultivadas em ambiente protegido no mundo (VIUDA-MARTOS et al., 2014). E nesse sentido, o entendimento das variações microclimáticas de uma estufa, em conjunto com requisitos da cultura em seus diferentes estádios de crescimento merecem atenção especial (SHAMSHIRI et al 2018).

Os valores de temperatura considerados ideais para o tomateiro são entre 18,3 e 32,2 °C durante toda a estação de crescimento (HOCHMUTH; HOCHMUTH, 2012). Além do espectro ideal de temperatura, o tomateiro também requer, em especial, temperaturas diurnas mais elevadas, entre 20 °C e 25 °C, e noturnas mais amenas, entre 13 °C e 18 °C. Assim como, temperaturas abaixo de 10 °C prejudicam o crescimento, o desenvolvimento e a produção das plantas (ALVARENGA, 2013).

Outro requisito fundamental para o adequado desenvolvimento do tomateiro, segundo FAO (2013), são condições de radiação solar global mínima de 2,34 kWh m⁻² dia⁻¹ ou 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹. No estado do RS, os meses de maio a agosto, caracteristicamente, apresentam valores abaixo do limite ideal para cultura tanto no que se refere à temperatura quanto à radiação solar.

Devido a esta condição específica de necessidade mínima de radiação solar global surgiu o conceito de limite trófico, indicando que abaixo de um determinado valor acumulado de radiação solar diária, a produção de carboidratos pela fotossíntese não é suficiente para suportar o crescimento da planta de tomateiro. Isto é, na ausência de radiação solar suficiente, as plantas não se desenvolvem e nem produzem frutos de forma adequada, o que já foi constatado por Andriolo (2004) para tomateiro salada em Santa Maria. Porém, ao longo do tempo, as cultivares de tomate evoluíram e Albuquerque Neto & Peil (2012), Rosa (2015) e Perin (2017) já observaram o adequado desenvolvimento da cultura do minitomateiro em experimentos conduzidos em estufas em condições de radiação abaixo do limite trófico.

Diante de todos os possíveis benefícios do cultivo em ambiente protegido associado à utilização da enxertia em hortaliças, estas práticas podem ser grandes aliadas para a solução de problemas de produção de tomate em condições adversas como altas e baixas temperaturas e baixa radiação solar no estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma, estudos relacionados ao comportamento fisiológico e ao manejo de plantas de tomateiro enxertado em comparação às plantas de pé franco em sistemas de cultivo sem solo necessitam da realização de pesquisas enfocando estes aspectos que levem à otimização da produção com baixo impacto ambiental, menor custo de produção e alta rentabilidade, inclusive em épocas do ano antes consideradas impróprias para a cultura.

A fim de promover o desenvolvimento local e regional por meio da pesquisa científica, este trabalho parte das seguintes hipóteses: plantas enxertadas de tomateiro seriam mais vigorosas e produtivas que plantas de pé-franco; as plantas enxertadas teriam um sistema radicular mais desenvolvido, possibilitando maior aporte de água e nutrientes, e dessa forma podem promover maior crescimento da parte aérea e melhores resultados produtivos; se apresentam maior vigor e produtividade, as plantas enxertadas conduzidas com duas hastes teriam os mesmos ou melhores resultados que plantas de haste única por unidade de área e reduziriam os custos com mudas; devido as características conferidas pelo porta-enxerto, plantas enxertadas apresentariam melhores resultados produtivos em condições de baixa temperatura e radiação solar.

Dentro do contexto apresentado, esta pesquisa foi formalizada em três artigos científicos. No primeiro artigo, buscou-se avaliar o efeito da enxertia e do número de hastes quanto ao crescimento, às respostas produtivas e de qualidade dos frutos do tomateiro em sistema de cultivo em substrato. Com o segundo artigo objetivou-se avaliar o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos, assim como definir o limite trófico de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro do tipo salada e do tipo italiano, cultivadas em substrato sob condições de restrição de radiação solar e temperatura. E no terceiro trabalho objetivou-se avaliar o comportamento fisiológico, o crescimento, a produção e a extração de nutrientes de plantas de tomateiro enxertadas e não enxertadas conduzidas com haste única e com duas hastes em sistema de cultivo aeropônico.

2 Projeto de Pesquisa

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
FACULDADE DE AGRONOMIA "ELISEU MACIEL"
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO
AGRÍCOLA FAMILIAR**

Projeto de Tese:

Fisiologia da produção de tomateiro enxertado em sistema de cultivo sem solo.

Lais Perin

Pelotas, 2017

2.1 Identificação

2.1.1 Instituição

Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel (FAEM), Departamento de Fitotecnia (DFt), Programa de Pós- Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

2.1.2 Equipe

- Lais Perin – Eng. Agr., Ms., Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Bolsista CAPES, FAEM/UFPeL. Responsável.
- Roberta Marins Nogueira Peil – Prof.^a, Dr., Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPeL. Orientadora.
- Roberto Trentin – Prof., Dr., Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPeL. Coorientador.
- Paulo Roberto Grolli – Prof., Dr., Departamento de Fitotecnia, FAEM/UFPeL. Coorientador.
- Chaiane Borges Signorini – Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Bolsista CAPES, FAEM/UFPeL. Participante.
- Daniela Höhn – Eng. Agr., Discente do Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Bolsista CAPES, FAEM/UFPeL. Participante.
- Willian Schaun – Discente do curso de Agronomia, Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq, FAEM/UFPeL. Participante.

2.2 Antecedentes e justificativa

As hortaliças, de maneira geral, estão presentes diariamente no prato de grande parte da população. Ricas em vitaminas, sais minerais, fibras e compostos antioxidantes, são essenciais à boa saúde. Com uma infinidade de cores, tipos, tamanhos e formatos, algumas espécies possuem também propriedades medicinais e condimentares (VIANA et al., 2015). O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) se destaca por seus atributos nutracêuticos, uma vez que os frutos possuem elevado teor de licopeno que é um importante antioxidante na prevenção do câncer, especialmente o de próstata (SOARES; FARIAS, 2012).

Pertencente à família Solanaceae o tomateiro tem como origem a região andina, do Equador até o Norte do Chile onde crescia espontaneamente (ALVARENGA, 2013). A cultura tem se destacado como a hortaliça de fruto mais consumida no Brasil e no mundo, sendo a primeira hortaliça de fruto em importância econômica pelo volume de produção e valor agregado, com produção aproximada de 3,31 milhões de toneladas no ano de 2016 (CARVALHO et al., 2016). Dessa forma, tem garantido a renda de muitos produtores, principalmente na agricultura familiar, por se tratar de uma cultura altamente produtiva e lucrativa em pequenas áreas.

O cultivo do tomateiro é, em sua maior parte, realizado no campo, preferencialmente, em áreas novas ou em locais em que foi feita a prática de rotação de culturas para diminuir a incidência de pragas e doenças. No entanto, nos últimos anos, o cultivo em ambiente protegido aumentou significativamente como forma de proteger a cultura de intempéries climáticas e prolongar o ciclo de produção. Porém, no cultivo convencional no solo, a prática de rotação de culturas é dificultada neste tipo de ambiente, ocorrendo problemas de fertilidade do solo, aumento da incidência de patógenos de solo e de substâncias alelopáticas que limitam o cultivo do tomateiro (FONTES et al., 2004).

O surgimento de diferentes raças fisiológicas, estirpes ou grupos de patógenos em uma área de cultivo pode ser solucionado ou amenizado com a utilização de variedades resistentes. Porém, esta alternativa de manejo possui limitações, pois a obtenção de novos materiais demanda tempo e investimentos onerosos. Dessa forma, a enxertia se constitui em uma alternativa de manejo com base na utilização de porta-enxertos resistentes (GOTO et al., 2003).

A prática da enxertia iniciou em plantas frutíferas, há milhares de anos atrás, na China (SANTOS, 2003). Já, em hortaliças, a utilização da técnica é considerada recente, desde a década de 1920 no Japão e na Coreia na cultura da melancia (YASINOK, 2009). No Brasil, os primeiros relatos de uso da enxertia foram na década de 1980 para o controle de nematóides e outras doenças (PEIL, 2003; SANTOS; GOTO, 2004).

A enxertia em tomateiro visa aliar os fatores resistência de plantas, produtividade e qualidade de frutos a fim de melhorar a produção em vários aspectos. Esta prática é comumente utilizada para as produções, tanto no campo como em ambiente protegido, realizadas no solo, devido aos patógenos associados a este meio de cultivo. No entanto enquanto alguns autores (SIRTOLI et al., 2008; MOHAMMED et al., 2009) relatam incrementos de produção em plantas enxertadas frente às plantas de pé franco, outros autores (CARDOSO et al., 2006; LOOS et al., 2009; PEDÓ et al., 2013) também relatam não haver diferenças significativas de produção entre os dois tipos de plantas.

Partindo-se do princípio de que o principal objetivo do emprego de plantas enxertadas seria conferir à cultura resistência ou tolerância a patógenos de solo (PEIL, 2003), em cultivos sem solo (hidroponia ou em substrato) não haveria a necessidade da utilização de mudas enxertadas. Porém, muitos produtores têm relatado a utilização da enxertia no cultivo do tomateiro empregando substrato em ambiente protegido. A alegação para isso reside na informação de que as plantas enxertadas apresentam maior vigor, produtividade e longevidade frente às plantas de pé-franco, características estas conferidas pelo porta-enxerto conforme descrição das cultivares (SEMINIS®).

Quanto à forma de condução das plantas de tomateiro, esta varia de acordo com o manejo de cada produtor e pode ser feita em haste única ou duas hastes. Associando-se o fato de que as plantas enxertadas apresentam maior vigor e produtividade ao maior custo destas mudas, plantas conduzidas com duas hastes possivelmente reduziriam os custos mantendo-se os mesmos patamares produtivos por área do que as plantas de pé-franco. Dessa forma este tipo de estudo é de extrema importância para averiguação de quais as interações envolvidas entre enxerto e porta-enxerto para a expressão de resultados superiores frente às plantas de pé-franco.

Outro fator em destaque na literatura baseia-se em trabalhos destacando que o uso da enxertia em tomateiro vai além da função de dar resistência a pragas e doenças de solo, sendo empregada para superação de condições ambientais adversas como, por exemplo, estresses por altas e baixas temperaturas (ABDELHAFEEZ et al., 1975; VENEMA et al., 2008; ABDELMAGEED; GRUDA, 2009; MOHAMMED et al., 2009; MUNEEER et al., 2016), e tolerância à salinidade (ESTAÑ et al., 2005). Em outras culturas, como a do pimentão, López-Marín et al (2013) relataram melhorias no crescimento, desenvolvimento e produção de plantas enxertadas frente as de pé-franco em condições de estresse térmico em ambiente protegido.

Caracteristicamente, o tomateiro é uma cultura que se desenvolve bem em clima tropical de altitude, subtropical ou temperado, seco e com luminosidade elevada. É exigente em termoperiodicidade diária, requerendo temperaturas diurnas entre 20 °C e 25 °C, e, noturnas entre 13 °C e 18 °C. Temperaturas abaixo de 10 °C por longos períodos de tempo afetam a absorção de água e nutrientes e reduzem o metabolismo da planta, consequentemente, reduzindo sua taxa de crescimento (ALVARENGA, 2013). No Rio Grande do Sul (RS), o período de inverno é crítico para a produção de tomate, uma vez que as temperaturas e a radiação solar, frequentemente, se encontram abaixo do adequado para a espécie. Contudo neste período, os preços chegam a ser duas vezes superiores aos normalmente praticados na primavera e no verão (CEASA-RS, 2014).

De maneira genérica, se indica que o limite trófico para hortaliças de clima tropical e subtropical é de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹ (FAO, 1990). No estado, os meses de maio a agosto, caracteristicamente conforme dados observados nos últimos cinco anos (Estação Agroclimatológica de Pelotas), apresentam valores abaixo deste limite. O conceito de limite trófico indica que abaixo de um determinado valor acumulado de radiação solar diária, a produção de carboidratos pela fotossíntese não é suficiente para suportar o crescimento da planta. Isto é, na ausência de radiação solar suficiente, as plantas não se desenvolveriam e nem produziram frutos de forma adequada, o que já foi constatado por Andriolo (2004) para tomateiro salada em Santa Maria. Porém, Albuquerque Neto & Peil (2012), Rosa (2015) e Perin (2017) observaram o adequado desenvolvimento da cultura do minitomateiro em experimentos conduzidos em estufas durante o inverno na cidade de Pelotas/RS.

Como alternativa para a superação de condições ambientais adversas, diversos autores destacam a utilização da enxertia, com demonstração de resultados satisfatórios (LEE et al., 2010; ROUPHAEL et al., 2010; SCHWARZ et al., 2010; NAWAZ et al., 2016). A justificativa utilizada para os melhores resultados das plantas enxertadas frente às plantas de pé-franco, está baseada no fato de que as plantas utilizadas como porta-enxertos são selecionadas por apresentarem sistema radicular mais desenvolvido e vigoroso, resistente a patógenos e tolerantes a diferentes condições ambientais adversas (altas e baixas temperaturas do solo, salinidade, restrição hídrica). Dessa forma, podem oferecer maior aporte de água e nutrientes minerais à parte aérea, permitindo maior crescimento e desenvolvimento, incrementos de produção e melhorias na qualidade dos frutos.

Diante de todos os possíveis benefícios associados à utilização da enxertia em hortaliças, esta prática pode ser uma grande aliada para a solução do problema de produção de tomate em condições adversas como altas e baixas temperaturas e baixa radiação solar no estado do Rio Grande do Sul. Dessa forma, estudos relacionados ao comportamento fisiológico e ao manejo de plantas de tomateiro enxertado em comparação às plantas de pé franco em sistemas de cultivo sem solo necessitam da realização de pesquisas enfocando estes aspectos que levem à otimização da produção com baixo impacto ambiental, menor custo de produção e alta rentabilidade, inclusive em épocas do ano antes consideradas impróprias para o cultivo da cultura.

2.3 Hipóteses

- Plantas enxertadas de tomateiro são mais vigorosas e produtivas que plantas de pé-franco, possivelmente por apresentarem sistema radicular mais desenvolvido;
- Com um sistema radicular maior a planta terá maior aporte de água e nutrientes conferindo-lhes melhor desenvolvimento da parte aérea, o que será expresso em melhores resultados produtivos;
- Por apresentarem maior vigor e produtividade as plantas enxertadas conduzidas com duas hastes terão os mesmos ou melhores resultados que plantas de haste única por unidade de área e reduzirão os custos com mudas.

2.4 Objetivos e Metas

2.4.1 Objetivo geral

- Avaliar aspectos fisiológicos, produtivos e a qualidade dos frutos de plantas de tomateiro enxertadas frente às plantas de pé-franco, conduzidas em haste única e duas hastes, em sistema fechado de cultivo em substrato de casca de arroz *in natura*.

2.4.2 Objetivos específicos

- Avaliar a fotossíntese, respiração, absorção de água, e extração de nutrientes minerais de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro conduzidas em haste única e duas hastes em sistema fechado de cultivo em substrato;
- Avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a produção de plantas de tomateiro enxertadas frente às plantas de pé-franco conduzidas com uma e duas hastes, em sistema fechado de cultivo em substrato, para produção de frutos durante o período de outono/inverno;
- Determinar a influência relativa da radiação solar e da temperatura sobre o crescimento da cultura;
- Determinar o menor valor de radiação solar em que ocorra crescimento significativo das plantas de tomateiro durante o período de outono/inverno em ambiente protegido no Rio Grande do Sul.

2.4.3 Metas

Ao final do terceiro ano de execução do projeto, pretende-se:

- Definir as diferenças entre plantas enxertadas e não enxertadas quanto aos aspectos fisiológicos e produtivos que justifiquem a adoção da prática da enxertia no cultivo em substrato;
- Definir o limite trófico para a cultura.

2.5 Material e métodos

O projeto foi dividido em dois planos de ação, cujas metodologias estão descritas a seguir:

2.5.1 Plano de ação 1: Número de hastes e avaliação de componentes fisiológicos e produtivos de plantas de tomateiro enxertadas e de pé-franco em sistema de cultivo sem solo.

Este experimento será realizado por duas vezes no período de primavera/verão a inverno dos anos de 2017/2018 e de 2018/2019 no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Campus da Universidade Federal de Pelotas (31°52'S – 52°21'W), localizado no município de Capão do Leão, RS. O clima da região classifica-se como cfa de acordo com Köppen (Kuinchtner e Buriol, 2001).

O experimento será realizado em estufa modelo “Teto arco”, de estrutura metálica, coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150µm de espessura. A estrutura está disposta no sentido norte-sul com dimensões de 10 m x 21 m, 5,0 m de altura máxima e 3,5 m de pé direito, compreendendo área de 210 m². O manejo do ambiente da estufa será efetuado apenas por ventilação natural, através da abertura das janelas laterais e portas da estufa às 8h00min e fechamento de acordo com a variação das condições ambientais. Em dias em que ocorram baixas temperaturas, precipitação, ventos muito fortes ou alta umidade relativa do ambiente externo à estufa, esta será fechada parcial ou totalmente.

A solução nutritiva a ser empregada será a adaptada de Rocha et al. (2010) para a cultura do tomateiro, com a seguinte composição de macronutrientes (mmol litro⁻¹): 14,0 de NO₃⁻; 1,15 de H₂PO₄⁻; 1,75 de SO₄⁻²; 1,15 de NH₄⁺; 7,0 de K⁺; 3,5 de Ca⁺²; 1,75 de Mg⁺²; e micronutrientes (mg litro⁻¹), 3,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn; 0,15 de B; 0,02 de Cu e 0,01 de Mo. Para o preparo da solução nutritiva, será utilizada água da chuva (CE = 0,0 dS m⁻¹). A condutividade elétrica (CE) esperada da solução será de aproximadamente 1,80 dSm⁻¹.

As mudas serão adquiridas do viveiro Hortimudas de Nova Bassano/RS, especializado na produção de mudas enxertadas de tomateiro. Serão utilizadas mudas da cultivar de tomateiro Multifort® (Semini) para porta-enxerto, descrita pela empresa por conferir vigor e longevidade, e para enxerto e plantas de pé-franco mudas da cultivar Giuliana® (Sakata) do tipo italiano de hábito de crescimento indeterminado.

O sistema de cultivo a ser empregado será em calhas. Este será constituído por 12 canais de cultivo de madeira (0,30 m de largura e 7,5 m de comprimento) dispostos em 6 linhas duplas, com distância entre linhas duplas de 1,2 m e distância

entre linhas simples de 0,5 m. Os canais serão apoiados por cavaletes de madeira com altura máxima de 0,6 m, instalados de forma a proporcionar uma declividade de 3% para o escoamento da solução nutritiva até o reservatório. Este será de fibra de vidro, com capacidade de 500 L, e será enterrado na extremidade de cota mais baixa dos canais de cultivo.

Internamente, os canais de madeira serão revestidos com filme de polietileno dupla face (preto-branco), de maneira a formar canais plásticos para conduzir o lixiviado até a rede coletora. Os canais serão preenchidos com casca de arroz *in natura*, formando uma camada de 10 cm de altura. Com as dimensões de 7,5 m de comprimento x 0,30 m de largura e 0,10 m de profundidade, o volume de substrato em cada calha será de 225 litros.

Um conjunto moto-bomba de $\frac{1}{2}$ CV, impulsionará a solução nutritiva para a extremidade de maior cota dos canais, através de um cano de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada. A partir desse ponto, a solução nutritiva será fornecida através de fitas gotejadoras direcionados para a base das plantas, com vazão de $1,4 \text{ L h}^{-1}$. A solução nutritiva drenada retornará para o reservatório, formando um sistema fechado. Nas primeiras horas após o transplante, o sistema de irrigação permanecerá funcionando ininterruptamente com o objetivo de evitar eventuais estresses hídricos às plantas. Após este período, a irrigação será acionada durante 30 minutos a cada 1 hora das 08h00min às 19h00min, totalizando 12 irrigações diárias. Durante a noite, será acionada uma única vez durante 15 min, às 03h.

A condução das plantas será feita de duas formas: haste única em espaçamento entre plantas de 0,3 m (densidade populacional de $3,9 \text{ hastes m}^{-2}$) e duas hastes em espaçamento entre plantas de 0,6 (densidade populacional de $1,95 \text{ hastes m}^{-2}$). A seleção das hastes das plantas que serão conduzidas com duas hastes será feita com a poda da gema apical a fim de quebrar a dominância apical da haste principal e estimular o crescimento das hastes laterais, que são selecionadas na sequência.

O tutoramento das plantas será feito com fita de ráfia presa em linha de arame disposta cerca de 3,0 m acima da linha de cultivo e sustentada pela estrutura da estufa. Os demais tratos culturais (desbrotas, desfolhas, raleio de frutos, rebaixamentos das plantas) e fitossanitários serão efetuados na medida em que se fizerem necessários.

Durante os experimentos, serão monitoradas diariamente a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da estufa, em termo-higrômetro digital, instalado em abrigo meteorológico a 1,5 m acima da superfície do solo. A radiação solar global incidente no exterior da estufa será obtida através dos dados coletados nas Estações Agroclimatológicas de Pelotas, localizada a aproximadamente 1000 m do local onde será executado o experimento.

O monitoramento da solução nutritiva será diário e realizado através das medidas de CE (empregando-se condutivímetro manual digital) e de pH (empregando-se pHmetro manual digital). O pH será mantido entre 5,5 e 6,5 através da adição de solução de correção a base de hidróxido de sódio (NaOH 1N), quando necessário aumentar o pH, ou ácido sulfúrico (H₂SO₄) para diminuir o pH. A reposição de nutrientes ou de água será realizada através da adição de solução estoque concentrada ou de água da chuva estocada.

Mensalmente serão realizadas leituras com aparelho de medidas fisiológicas IRGA modelo LI-6400 (LI-COR) para obtenção de dados de fotossíntese, respiração, transpiração e condutância estomática. As medidas serão feitas sempre no penúltimo folíolo da terceira folha, contada a partir do ápice, no período entre às 08h00min e às 12h00min (GARCIA, 2014). Serão analisadas duas plantas por tratamento por repetição.

Para a coleta dos dados de produção, serão realizadas duas colheitas semanais de frutos maduros que serão pesados para obtenção da massa fresca. A cada mês, serão separadas amostras de cada repetição para determinação do teor de sólidos solúveis totais (°Brix) por meio da análise dos frutos com 100% da coloração vermelha. A partir dos dados de massa fresca e de número de frutos colhidos e da densidade de plantio serão determinados os componentes do rendimento: número de frutos, peso médio de frutos, produção e produtividade da cultura (g planta⁻¹ e g m⁻²).

Ao final do ciclo de cultivo, será feita a quantificação da biomassa total acumulada das plantas, incluindo os frutos colhidos durante o processo produtivo, bem como as folhas provenientes das desfolhas. As variáveis analisadas serão: número de folhas emitidas, sendo consideradas aquelas com mais de 0,05 m de comprimento; altura de planta e área foliar, medida em equipamento medidor de área foliar (LI-31000C). As plantas serão separadas nas frações caule, folhas e frutos,

posteriormente serão pesadas em balança de precisão para obtenção da massa fresca. Para obtenção da massa seca, o material será seco em estufa com circulação forçada de ar (65 °C).

O delineamento experimental a ser adotado será em blocos casualizados com quatro tratamentos, resultantes da combinação de dois níveis do fator do fator tipo de planta (enxertada e pé-franco) e dois níveis do fator número de hastes por planta (plantas com haste única e plantas com duas hastes). Para as análises de produtividade e de biomassa final serão utilizadas duas plantas por tratamento (oito plantas por repetição), evitando-se as bordaduras.

Com a finalidade de avaliar aspectos relativos ao funcionamento do sistema radicular, paralelamente a este experimento, será realizado um ensaio complementar, com os mesmos tratamentos, mesmas condições do ambiente de cultivo, solução nutritiva e forma de condução das plantas. No entanto em sistema de aeroponia, com objetivo de avaliar o consumo de água e a extração de nutrientes minerais pelas plantas. Serão colocadas duas plantas de cada tratamento (plantas enxertadas de haste única e duas hastes, e plantas de pé franco de haste única e de duas hastes) em caixas d'água de 100 litros (o número de plantas por caixa respeitará o número de hastes por área). A irrigação será feita com sistema de aspersão, conforme Figura 1.

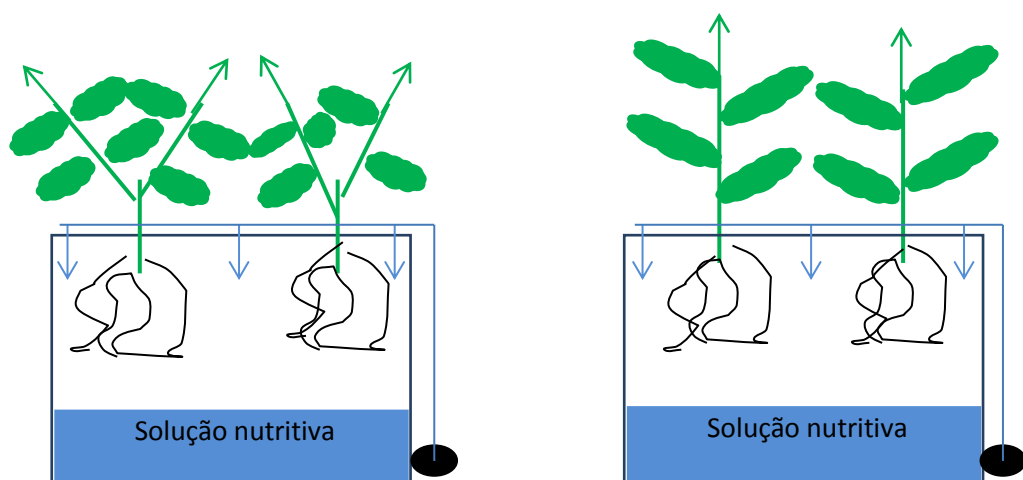


Figura 1: Sistema de aeroponia para análise de consumo de água e extração de nutrientes minerais pelas plantas.

Os frutos colhidos ao longo desde ensaio serão pesados e secos para avaliação da massa seca, e amostras serão enviadas a laboratório especializado para análise de extração de nutrientes. As plantas serão retiradas apenas ao final do experimento para análise de biomassa da parte aérea e das raízes e composição de nutrientes da matéria seca de cada um dos órgãos das plantas (raiz, caule, folhas e frutos).

2.5.2 Plano de ação 2: Aspectos produtivos, de crescimento e desenvolvimento de plantas de tomateiro enxertadas e de pé-franco conduzidas com uma e duas hastes para obtenção de produção durante o período de outono/inverno no Rio Grande do Sul.

Este experimento será realizado por duas vezes no período de verão a inverno dos anos de 2018 e de 2019 no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Campus da Universidade Federal de Pelotas (31°52'S – 52°21'W), localizado no município de Capão do Leão, RS. O clima da região classifica-se como cfa de acordo com Köppen (Kuinchtner e Buriol, 2001).

Os experimentos serão realizados em estufa modelo “Arco Pampeana”, de estrutura metálica, coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150µm de espessura. A estrutura está disposta no sentido norte-sul com dimensões de 10 m x 21 m, 5,0 m de altura máxima e 3,5 m de pé direito, compreendendo área de 210 m². O manejo do ambiente da estufa será efetuado apenas por ventilação natural, através da abertura das janelas laterais e portas da estufa às 8h00min, e fechamento de acordo com a variação das condições ambientais. Em dias em que ocorram baixas temperaturas, precipitação, ventos muito fortes ou alta umidade relativa do ambiente externo à estufa, esta será fechada parcial ou totalmente.

A solução nutritiva a ser empregada será a adaptada de Rocha et al. (2010) para a cultura do tomateiro, com a seguinte composição de macronutrientes (mmol litro⁻¹): 14,0 de NO₃⁻; 1,15 de H₂PO₄⁻; 1,75 de SO₄⁻²; 1,15 de NH₄⁺; 7,0 de K⁺; 3,5 de Ca⁺²; 1,75 de Mg⁺²; e micronutrientes (mg litro⁻¹), 3,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn; 0,15 de B; 0,02 de Cu e 0,01 de Mo. A condutividade elétrica (CE) esperada da solução será de aproximadamente 1,80 dSm⁻¹.

As mudas serão adquiridas do viveiro Hortimudas de Nova Bassano/RS, especializado na produção de mudas enxertas de tomateiro. Serão utilizadas mudas da cultivar de tomateiro Multifort® (Seminis) para porta-enxerto, descrita pela empresa por conferir vigor e longevidade, e para enxerto e plantas de pé-franco mudas da cultivar Giuliana® (Sakata) do tipo italiano de hábito de crescimento indeterminado.

O sistema de cultivo a ser empregado será em vasos plásticos contendo sete litros de substrato de casca de arroz carbonizada. Este será constituído por 12 canais de cultivo de madeira (7,5 m de comprimento e 0,20 m de largura) dispostos em 6 linhas duplas, com distância entre linhas duplas de 1,2 m e distância entre linhas simples de 0,5 m. Os canais serão apoiados por cavaletes de madeira com altura máxima de 0,6 m, instalados de forma a proporcionar uma declividade de 3% para o escoamento da solução nutritiva até o reservatório. Este será de fibra de vidro, com capacidade de 500 L, e será enterrado na extremidade de cota mais baixa dos canais de cultivo.

Internamente, os canais de madeira serão revestidos com filme de polietileno dupla face (preto-branco), de maneira a formar canais plásticos para conduzir o lixiviado até a rede coletora. Os vasos serão dispostos sobre o sistema de canais que possibilitarão a coleta e condução da solução drenada. Um conjunto moto-bomba de 1 CV, impulsionará a solução nutritiva para a extremidade de maior cota dos canais, através de um cano de PVC de ½ polegada. A partir desse ponto, a solução nutritiva será fornecida através de mangueiras de polietileno e gotejadores direcionados para a base das plantas, com vazão de 1,4 L h⁻¹. A solução nutritiva drenada retornará para o reservatório, formando um sistema fechado.

Nas primeiras horas após o transplante, o sistema de irrigação permanecerá funcionando ininterruptamente com o objetivo de evitar eventuais estresses hídricos às plantas. Após este período, a irrigação será acionada durante 30 minutos a cada 1 hora das 08h00min às 19h00min durante o verão e 15 minutos a cada 45 minutos das 08h00min às 17h00min durante o inverno. Durante a noite, será acionada uma única vez durante 15 min, às 03h.

O monitoramento da solução nutritiva será diário e realizado através das medidas de CE (empregando-se condutivímetro manual digital) e de pH (empregando-se pHmetro manual digital). O pH será mantido entre 5,5 e 6,5 através da adição de solução de correção a base de hidróxido de sódio (NaOH 1N), quando necessário

umentar o pH, ou ácido sulfúrico (H_2SO_4) para diminuir o pH. A reposição de nutrientes ou de água será realizada através da adição de solução estoque concentrada ou de água.

Para caracterização do substrato, serão avaliadas as propriedades químicas, como CE, pH, além das propriedades físicas: densidade úmida e seca; matéria seca; porosidade total; espaço de aeração; água facilmente disponível; água tamponante e água remanescente. Serão adotadas duas épocas para a caracterização dos substratos: no início e ao final dos experimentos. Amostras simples de cada unidade de cultivo serão coletadas e homogeneizadas, e formarão uma amostra composta, que será enviada para análise no laboratório de análise de substratos da FEPAGRO/Porto Alegre.

A condução das plantas será em haste única com espaçamento entre plantas de 0,5 m ($2,35 \text{ hastes m}^{-2}$). Os demais tratos culturais (desbrotas, desfolhas, raleio de frutos, rebaixamentos das plantas) e fitossanitários serão efetuados na medida em que se fizerem necessários. O tutoramento será feito através de uma fita de ráfia presa em linha de arame disposta cerca de 3,0 m acima da linha de cultivo e sustentada pela estrutura da estufa.

Durante os experimentos, serão monitorados diariamente os dados de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar incidente no interior da estufa. A temperatura e a umidade relativa do ar serão medidas por um conjunto de termômetros (bulbo seco e bulbo úmido) instalados a aproximadamente 1,5 m acima do solo nas entrelinhas da cultura. A radiação solar incidente (G_i) no interior da estufa será obtida por meio de tubo solarímetro instalado no interior do ambiente protegido, sobre o dossel da cultura. Todos os dados ficarão armazenados por um sistema de aquisição de dados (datalogger). A radiação solar global no exterior da estufa (G_o) será obtida a partir dos dados registrados pela Estação Agroclimatológica de Pelotas, localizada a aproximadamente 1000 m do local do experimento.

Para os dados de produção, serão realizadas duas colheitas semanais de frutos maduros que serão pesados para obtenção da massa fresca e, posteriormente, secos em estufa a 65°C , até peso constante para obtenção da massa seca. A cada mês, serão separadas amostras de cada repetição para determinação do teor de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) por meio da análise dos frutos com 100% da coloração vermelha. Também será realizada a classificação dos frutos em comerciáveis e não

comerciáveis, e de acordo com as classes de classificação estabelecidas pela CEAGESP (2003). A partir dos dados de massa fresca e de número de frutos colhidos e da densidade de plantio serão determinados os componentes do rendimento: número de frutos, peso médio de frutos, produção e produtividade da cultura (g planta^{-1} e g m^{-2}).

Os dados de crescimento e de biomassa terão início na semana do transplante e serão realizados periodicamente a cada 15 dias de janeiro a abril, e semanalmente de maio a agosto, totalizando 25 coletas. Serão coletadas as três plantas centrais de cada parcela de cada tratamento, dispensando-se as plantas de bordadura. As variáveis analisadas serão: número de folhas emitidas, sendo consideradas aquelas com mais de 0.05 m de comprimento; altura de planta; produção total de massa fresca; e área foliar medida em equipamento medidor de área foliar (LI-31000C). Posteriormente, para obtenção da massa seca, o material será seco em estufa com circulação forçada de ar ($65\text{ }^{\circ}\text{C}$). As variáveis de taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) serão calculadas conforme método descrito por Benincasa (2003). A partir das medidas sequenciais das variáveis analisadas, o crescimento das plantas será avaliado relacionando-o com a radiação solar global incidente acumulada no período ($\sum G_i$) e as médias dos valores de G_i .

O delineamento experimental será inteiramente casualizado, os canais de cultivo serão divididos em parcelas de 2,0 m e 4,0 m (5 plantas em cada parcela) em que os tratamentos serão distribuídos através de sorteio aleatório. As análises serão em esquema fatorial, sendo o primeiro fator relativo à forma de condução das plantas (uma e duas hastes), o segundo fator ao tipo de planta (enxertadas e de pé-franco), e o terceiro relativo à radiação solar incidente sobre a cultura (25 coletas, portanto, 24 níveis do fator radiação). Os dados serão submetidos à análise de variância, regressão, teste de médias e teste de agrupamento.

2.6 Recursos Necessários

Os recursos necessários para execução do projeto de pesquisa ao longo dos três anos de curso estão descritos conforme as tabelas 1, 2, 3, 4 e 5. Estes recursos serão provenientes da ajuda de custo do Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP) e da própria bolsa de estudos.

Tabela 1: Material de consumo.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Fertilizantes solúveis	-	-	-	1.950,00
Casca de arroz	carga	1	200,00	200,00
Polietileno dupla face	metro	100	14,00	1.400,00
Caixas de água (1000l)	un.	02	300,00	600,00
Mudas enxertadas	un.	1.000	2,50	2.500,00
Mudas de pé-franco	un.	1.000	1,50	1.500,00
Vasos	un.	250	2,50	625,00
Bandejas de alumínio	cento	5	80,00	400,00
Sacos de papel	cento	10	10,00	100,00
Temporizador digital	un.	4	80,00	320,00
Fita gotejadora	metro	1000	0,35	350,00
Material hidráulico	-	-	-	1.000,00
Subtotal				10.945,00

Tabela 2: Diárias e passagens.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Inscrição em congressos e eventos da área	1	5	200,00	1.000,00
Diárias para participação em congressos e eventos da área	1	12	150,00	1.800,00
Passagens aéreas para congressos e eventos da área	1	2	800,00	1.600,00
Subtotal				4.400,00

Tabela 3: Serviços de terceiros.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Análise nutricional de plantas	1	48	50,00	2.400,00
Análise física e química de substratos	1	8	45,00	360,00
Subtotal				2.760,00

Tabela 4: Despesas de capital.

Discriminação	Unidade	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
Medidor de condutividade e pH de bolso + soluções	-	01	600,0	600,00
Moto-bomba elétrica	-	02	350,00	700,00
Subtotal				1.300,00

Tabela 5: Orçamento Geral.

Discriminação	Valores (R\$)
Material de consumo	10.945,00
Diárias e passagens	4.400,00
Serviço de terceiros	2.760,00
Despesas de capital	1.300,00
Subtotal	20.655,00
Imprevistos (10%)	2.065,50
Total	21.470,50

2.7 Cronograma de Execução de Pesquisa

As atividades previstas a serem realizadas durante a execução do projeto de pesquisa estão descritas nas tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6: Atividades previstas para o ano de 2017.

[illegible]

Tabela 7: Atividades previstas para o ano de 2018.

[illegible]

Tabela 8: Atividades previstas para o ano de 2019.

[illegible]

Tabela 9: Atividades previstas para o ano de 2020.

[illegible]

2.8 Divulgação Prevista

Os resultados obtidos, através da execução do projeto de pesquisa serão publicados em congressos da área, encontros de pós-graduação, reuniões técnico-científicas, e revistas científicas, assim como farão parte de uma tese de doutorado apresentada pela Universidade Federal de Pelotas / Curso de Pós-graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar.

2.9 Referências Bibliográficas

ABDELHAFEEZ, A. T.; HARSSEMA, H.; VERKERK, K. Effects of air temperature, soil temperature and soil Moisture on growth and development of tomato itself and grafted on its own and egg-plant rootstock. **Scientia Horticulturae**, v.3, p.65-73, 1975.

ABDELMAGEED, A. H. A.; GRUDA, N. Influence of grafting on growth, development and some physiological parameters of tomatoes under controlled heat stress conditions. **European Journal of Horticultural Science**, v.74, n.1, p.16-20, 2009.

ALBUQUERQUE NETO A.A.R; PEIL R.M.N. Produtividade biológica de genótipos de tomateiro em sistema hidropônico no outono/inverno. **Horticultura Brasileira** v.30, n.4, p.613-619. 2012.

ALVARENGA, Marco Antônio Rezende. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2.ed. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 455 p.

ANDRIOLO, J. L. et al. Crescimento e produtividade de plantas de tomateiro em cultivo protegido sob alta densidade e desfolhamento. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1251-1253, 2004.

AUMONDE, T. Z. et al. Estádios morfológicos do crescimento de cucurbitáceas e tomateiro visando o uso em enxertia. **Scientia Plena**, v. 8, p. 1-6, 2012.

BENINCASA, Margarida Maria Pereira. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.

CARDOSO, S. C. et al. Qualidade de frutos de tomateiro com e sem enxertia. **Revista Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.269-274, 2006.

CARVALHO, C.; KIST, B. B.; TREICHEL, M. **Anuário brasileiro de hortaliças 2016**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2016. 64p.

CEASA-RS. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul SA. **Cotações**. Disponível em: <<http://www.ceasa.rs.gov.br/>>. Acesso em fevereiro de 2014.

Estação Agroclimatológica de Pelotas (Capão do Leão). **Boletim Agroclimatológico**. Disponível em <<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>>. Acesso em julho de 2015.

ESTAÑ, M. T. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n.412, p. 703-712, 2005.

FAO. **Protected cultivation in the Mediterranean climate**. Roma: FAO, 1990. 313 p.

FONTES, P. C. R. et al. Produção e qualidade do tomate produzido em substrato, no campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.3, p.614-619, 2004.

GARCIA, R. P. O. **Efeitos de giberelinas para respostas em plantas de tomate à deficiência hídrica**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GOTO, Romy; SANTOS, Haydée Siqueira; CAÑIZARES, Kathia Aalexandra Lara. **Enxertia em hortaliças**. São Paulo: UNESP, 2003. 85 p.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, p.171-182, 2001.

LEE, J. M. et al. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. **Scientia Horticulturae**, v.127, p. 93-105, 2010.

LOOS, R. A.; CALIMAN, F. R. B.; SILVA, D. J. H. Enxertia, produção e qualidade de tomateiros cultivados em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.232-235, 2009.

LÓPEZ-MARÍN, J. et al. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. **Scientia Horticulturae**, v.149, p.39-46, 2013.

MOHAMMED, S. M. T. et al. Effect of grafting on different rootstocks on growth and productivity under glasshouse conditions. **Asian Journal Agricultural Research**, v.3, n.2, p.47-54, 2009.

MUNNER, S. et al. Physiological and proteomic investigations to study the response of tomato graft unions under temperature stress. **Plos One**, v.11, n.6, p.1-23, 2016.

NAWAZ, M. A. et al. Grafting: a technique to modify ion accumulation in horticultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n. 1457, p.1-15, 2016.

PEDÓ, T. et al. Partitioning of assimilates and temporal distribution of productivity in grafted tomato plants. **Revista Brasileira de Biociências**, v.11, n.3, p.307-312, 2013.

PEIL, R.M.N. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1169-1177, 2003.

PERIN, L. **Sistemas fechados de cultivo sem solo, produção e ecofisiologia do minitomateiro**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ROCHA, M. Q.; PEIL, R. M. N.; COGO, C. M. Rendimento do tomate cereja em função do cacho floral e da concentração de nutrientes em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.4, p. 466-471, 2010.

ROCHA, Marcelo de Q; PEIL, Roberta MN; COGO, Clarissa M. Rendimento do tomate cereja em função do cacho floral e da concentração de nutrientes em hidroponia. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 28, n. 4, dez. 2010.

ROSA, D.S.B. **Número de hastes para o cultivo do tomateiro grape em substrato de casca de arroz e sistema fechado**. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

ROUPHAEL, Y. et al. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. **Scientia Horticulturae**, v.127, p.172-179, 2010.

SANTOS, H. S. Histórico de enxertia em hortaliças: utilização e pesquisa. In GOTO, Romy; SANTOS, Haydée. S.; CAÑIZARES, Kathia. A. L. (Org). **Enxertia em hortaliças**. São Paulo: UNESP, 2003. p. 11-14.

SANTOS, H.S.; GOTO, R. Enxertia em plantas de pimentão no controle da murcha de fitóftora em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.45-49, 2004.

SCHWARZ, D. et al. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. **Scientia Horticulturae**, v.127, p.162-171, 2010.

SEMINIS®. Nossos Produtos / culturas / porta-enxerto. Disponível em: <<http://www.seminis.com.br/Produtos/>>. Acesso em agosto de 2017.

SIRTOLI, L. F., et al. Avaliação de diferentes porta-enxertos de tomateiro cultivados em ambiente protegido. **Revista Biodiversidade** v.7 n.1, 24-28p, 2008.

SOARES, A. P. J.; FARIAS, L. M. Efeitos do licopeno do tomate na prevenção do câncer de próstata. **Revista Interdisciplinar NOVAFAPI**, Teresina. v.5, n.2, p.50-54, 2012.

VENEMA, J. H. et al. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.63, p.359-367, 2008.

VIANA, M. M. S et al. Composição fitoquímica e potencial antioxidante em hortaliças não convencionais. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 504-509, 2015.

YASINOK, A. E. et al. Grafting tomato plant on tobacco plant and its effect on tomato plant yield and nicotine content. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.89, n.7, p.1122-1128, 2009.

3 Relatório do Trabalho de Campo

Relatório do trabalho de campo

Os primeiros dois experimentos foram instalados no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Campus da Universidade Federal de Pelotas em novembro de 2017. Devido a dificuldades com a obtenção de mudas enxertadas na região das cultivares designadas inicialmente no projeto, as mudas foram obtidas de viveiros da cidade de Nova Bassano, na serra gaúcha. Em termos de montagem e condução dos experimentos, não houve problemas no experimento em calhas, já para a aeroponia alguns desafios tiveram que ser superados quanto à montagem do sistema e a posterior condução das plantas.

Nesta primeira fase, também tivemos outro grande desafio, aprender a fazer as leituras com o equipamento IRGA de análises, um aparelho aparentemente pequeno, mas bem pesado e difícil de manusear. Inicialmente, nas primeiras leituras tive a ajuda indispensável de colegas dos Programas de Pós-Graduação em Sementes e Fisiologia Vegetal.

O experimento de aeroponia foi conduzido até início de março de 2018, devido a problemas fitossanitários não foi possível estendê-lo por mais tempo. Já o experimento em calhas foi conduzido até início de agosto de 2018, conforme o planejamento inicial.

No ano de 2018, devido a questões pessoais e com autorização da Professora Roberta, os experimentos tiveram continuidade em uma propriedade particular localizada no município de Jaguari/RS. Dessa forma, instalamos uma estufa de 7m x 30m do modelo “teto arco” em estrutura mista com pé direito de 2,80m e altura máxima de aproximadamente 5m. O sistema de cultivo foi construído mantendo os parâmetros do sistema do experimento em calhas de Pelotas. Devido ao baixo desenvolvimento econômico da região, houve problemas para a aquisição de materiais básicos como caixas de água, bombas, material de irrigação etc.

Com a estrutura pronta em final de agosto, em outubro foi instalada a repetição do experimento de calhas. No entanto, quando as plantas estavam emitindo o 4º - 5º cacho floral, estas pararam de crescer, as folhas começaram a encarquilhar e os frutos a apresentar severa deficiência de cálcio. Passei a conferir o pH e a condutividade elétrica da solução umas três vezes por dia, mas a situação não melhorava, ao contrário só piorava e devido as péssimas condições das plantas, o experimento foi

descartado. Como não havia nada de errado com a solução nutritiva e a casca de arroz não poderia ser, pois se não haveria problemas desde o início do desenvolvimento das plantas, a suspeita passou a ser deriva de 2,4D bastante comum na região e também com efeitos prejudiciais, na mesma época, em todos os parreirais das áreas produtoras de uva, inclusive em algumas parreiras próximas à estufa.

Novas mudas foram adquiridas o mais rápido possível para transplante, a fim de otimizar o tempo e por isso acabei não fazendo a desinfestação do substrato para eliminação de doenças por achar desnecessário em apenas um ciclo. Então outro contratempo, as novas mudas começaram a morrer por damping off e tudo foi perdido novamente. No entanto, como já estávamos em fevereiro de 2019 a tentativa de repetição deste experimento foi deixada de lado para instalação do terceiro experimento.

O terceiro ensaio foi o cultivo de outono/inverno em vasos para análises semanais de crescimento e desenvolvimento que foi transplantado no final de fevereiro e conduzido até início de agosto de 2019. Mas em meados de julho, algumas plantas começaram a surgir com sintomas de murcha bacteriana, principalmente, as enxertadas e por este motivo o experimento foi encerrado algumas semanas antes. Enfim, apesar dos pequenos contratempos este experimento foi concluído com sucesso.

Em novembro de 2019, foi instalado o último grupo de ensaios, com a repetição dos experimentos de calhas e vasos. E para eliminação de problemas com o substrato fiz a solarização antes do reuso. Os experimentos foram concluídos em fevereiro de 2020, quando foi feita a colheita do 10º cacho floral.

Terminada a parte prática de campo iniciou-se a parte da análise de dados e a escrita. Enfim, foi uma longa, mas breve caminhada, em que muitos foram os desafios e muito mais os aprendizados e ensinamentos que vou carregar comigo. E esta experiência, em particular proporcionada graças à confiança depositada em mim pela minha estimada orientadora e coorientadores, me fez crescer muito como pessoa e como profissional. Uma experiência que todos os doutorandos deveriam passar se possível, pois realmente controlar um experimento e controlar uma estrutura em escala comercial são coisas bem diferentes, a responsabilidade ao ter que mostrar para produtores e uma comunidade que o que fazemos em termos de pesquisa pode realmente dar certo na prática.

4 Artigo 1: A enxertia associada à condução com duas hastes beneficia o crescimento e a produção do tomateiro no cultivo em substrato?

(Segundo Normas da Revista Scientia Horticulturae)

A enxertia associada à condução com duas hastes beneficia o crescimento e a produção do tomateiro no cultivo em substrato?

Resumo

A enxertia em hortaliças tem crescido consideravelmente e tem sido uma alternativa de manejo para superação de condições adversas de cultivo no solo. No entanto, muitos produtores têm utilizado mudas enxertadas de tomateiro no cultivo em substrato, alegando maior vigor, produtividade e longevidade frente às plantas não enxertadas. Neste sentido, o maior vigor das plantas enxertadas poderia ser aproveitado através da condução com duas hastes, o que reduziria os custos com mudas, porém, possibilitaria manter os patamares produtivos por área semelhantes aos das plantas conduzidas com haste única. Dessa forma, o trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da enxertia (plantas enxertadas frente a plantas não enxertadas) e do número de hastes por planta (uma e duas hastes) nas respostas de crescimento, produtivas e de qualidade dos frutos do tomateiro do tipo italiano, cultivado no sistema de calhas preenchidas com substrato de casca de arroz. Os experimentos foram conduzidos no sul do Brasil, nas safras 2017/18 (ciclo longo) e 2019/20 (ciclo curto), no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/UFPEL/ Capão do Leão e em uma propriedade rural particular na cidade de Jaguari/RS, respectivamente. As variáveis analisadas foram número de folhas, índice de área foliar (IAF), comprimento do caule, massa seca de frutos, vegetativa e total, número, massa média, produtividade e concentração de sólidos solúveis dos frutos. Os resultados indicam que, independentemente do número de hastes e do ciclo de cultivo, as plantas enxertadas apresentaram maior IAF, produção de massa seca de frutos, número e produtividade de frutos (17,1 e 19,3%, respectivamente, no primeiro e segundo ciclo de cultivo). A qualidade dos frutos, no que se refere à concentração de açúcares, não é afetada pela enxertia, sendo o tamanho médio do fruto favorecido em ciclo longo. Em ciclo

longo, tanto para plantas enxertadas como de pé franco, o cultivo com haste única promove o crescimento da cultura e é mais produtivo do que o de plantas com duas hastes. Em ciclo curto, do ponto de vista de crescimento reprodutivo e produtividade de frutos, para ambos os tipos de plantas, o cultivo com duas hastes se equipara ao de plantas de haste única.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L., cultivo em calhas, porta-enxerto, sistema fechado de cultivo.

Introdução

A produção de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) enfrenta muitos desafios no que se refere à superação de estresses bióticos e abióticos (Singh et al, 2017). Com respeito aos estresses bióticos, os problemas com doenças de diferentes raças fisiológicas e grupos de patógenos em uma área de cultivo podem ser solucionados ou amenizados com a utilização de cultivares resistentes. Porém, esta alternativa de manejo possui limitações, pois, a obtenção de novos genótipos demanda tempo e investimentos onerosos. Dessa forma, a enxertia constituiu-se em uma alternativa interessante de manejo, baseada na utilização de porta-enxertos resistentes (Goto et al., 2003). Em tomateiro, a enxertia tem visado aliar os fatores resistência de plantas, produtividade e qualidade de frutos, a fim de melhorar a produção em vários aspectos, propiciando maior retorno econômico ao produtor.

Não obstante, o principal objetivo do emprego de plantas enxertadas é conferir à cultura do tomateiro resistência ou tolerância a patógenos de solo (Peil, 2003), por este motivo, em cultivos sem solo, não haveria a necessidade da utilização de mudas enxertadas por ser o ambiente de crescimento radicular, presumivelmente, livre de fitopatógenos. Porém, há muitos relatos de produtores indicando o uso da enxertia no cultivo do tomateiro em sistemas sem solo. As alegações se baseiam no maior vigor aparente, produtividade e longevidade das plantas enxertadas em comparação com as plantas não enxertadas.

As melhores respostas das plantas enxertadas encontram-se fundamentadas na teoria de que as plantas utilizadas como porta-enxertos são selecionadas pelo cruzamento de genótipos com características de tolerância a algum fator determinado e apresentam sistema radicular mais desenvolvido e vigoroso, resistente a patógenos e tolerantes a diferentes condições ambientais adversas (Gaion et al., 2017). Dessa forma, há maior aporte de nutrientes minerais à parte aérea das plantas, permitindo maior crescimento, incrementos de produção e melhorias na qualidade dos frutos.

Ao apresentar maior vigor, expresso em maior desenvolvimento da parte aérea e maior área foliar, possivelmente, as plantas enxertadas apresentem maior capacidade fotossintética que, por sua vez, podem levar a um ganho na produtividade de frutos (Djidonou et al., 2017). Em razão disso, as plantas enxertadas poderiam ser conduzidas com um maior número de hastes do que plantas não enxertadas, o que traria o benefício de reduzir os custos com a aquisição das mudas. Desta maneira, uma vez preservada a densidade de hastes por unidade de área cultivada, a condução de plantas enxertadas com duas hastes possibilitaria diminuir em 50% o número de plantas por unidade de área, porém, mantendo os patamares produtivos por área semelhantes aos das plantas conduzidas com haste única.

Na literatura, trabalhos que comparem os fatores enxertia e número de hastes, conjuntamente, são raros, assim como os estudos sobre o uso da enxertia em cultivo sem solo são praticamente inexistentes. Neste sentido, Peil & López-Gálvez (2004) reportam pesquisa relacionando o crescimento de hastes laterais adicionais ao longo do ciclo de cultivo de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro em sistema hidropônico NFT e não observaram a existência de interação entre a enxertia e o maior número de hastes secundárias e tampouco maior resposta produtiva das plantas enxertadas. No entanto, a pesquisa citada não partiu de plantas com duas hastes principais e em igualdade de número por metro quadrado que as plantas não enxertadas, o que pode ser determinante para diferenças nas respostas obtidas.

Geralmente, são encontrados trabalhos, dissociados, que avaliam apenas o fator enxertia ou apenas o número de hastes das plantas. Relatos de pesquisas sobre o uso de plantas enxertadas de tomateiro no cultivo em substrato são desconhecidos.

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da enxertia e do número de hastes quanto ao crescimento, às respostas produtivas e de qualidade dos frutos do tomateiro em sistema de cultivo em substrato.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos na safra 2017/18 (ciclo longo de cultivo – 273 dias), compreendendo o período de 07 de novembro de 2017 a 07 de agosto de 2018 (primavera/inverno), e na safra 2019/20 (ciclo curto de cultivo – 130 dias), de 19 de setembro de 2019 a 27 de janeiro de 2020 (primavera/verão). O primeiro cultivo foi implantado no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Campus da Universidade Federal de Pelotas, Capão do Leão/RS (31°48'S 52°25'W). O segundo ensaio foi realizado em uma propriedade rural particular na cidade de Jaguari/RS (29°30'S 54°41'W). Os locais de cultivo ficam localizados aproximadamente 400 km de distância, mas, ambos possuem a mesma classificação climática, com chuvas bem distribuídas, verão quente com temperaturas máximas nos meses mais quentes superiores a 30°C, e geadas nos meses de inverno e temperaturas menores que 10°C.

Os experimentos foram implementados sob delineamento experimental de blocos casualizados com quatro repetições, sob esquema fatorial (2 x 2), resultante da combinação de dois níveis do fator tipo de planta (enxertada e não enxertadas) e dois níveis do fator número de hastes por planta (plantas com haste única e plantas com duas hastes).

As mudas enxertadas e não enxertadas foram adquiridas do viveiro Hortimudas de Nova Bassano/RS, especializado na produção de mudas enxertas de tomateiro. Foram utilizadas

mudas da cultivar de tomateiro Multifort® (Seminis) para porta-enxerto, escolhida pela empresa por conferir vigor e longevidade. O enxerto e plantas não enxertadas foram oriundas da cultivar Giuliana® (Sakata) do tipo italiano, de hábito de crescimento indeterminado. A técnica de enxertia utilizada foi do tipo inglês simples, sendo as mudas cortadas em ângulo aproximado de 45° e unidas por cliques de pressão.

A condução das plantas foi feita de modo a conferir a mesma densidade de hastes por unidade de área, sendo: haste única em espaçamento entre plantas de 0,3 m (densidade populacional de 3,9 plantas m⁻²) e duas hastes em espaçamento entre plantas de 0,6 m (densidade populacional de 1,95 plantas m⁻²). A condução com duas hastes foi obtida a partir da poda do meristema apical da haste primária acima da 4ª folha verdadeira, sendo selecionadas as duas primeiras hastes laterais emitidas.

Os ensaios foram realizados em estufas modelo “Teto arco”, de estrutura metálica e mista, cobertas com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150µm de espessura. As estruturas estavam dispostas no sentido norte-sul com dimensões de 10 m x 21 m, 5,0 m de altura máxima e 3,5 m de pé direito, compreendendo área de 210 m² (destinada para o experimento 2017/18); e 7 m x 30 m, 4,5 m de altura máxima e 3,0 m de pé direito, compreendendo área de 210 m² (destinada para o experimento 2019/20). O manejo dos ambientes protegidos foi efetuado apenas por ventilação natural, através da abertura e fechamento das janelas laterais e portas da estufa de acordo com a variação das condições ambientais, a fim de manter as melhores condições para o adequado desenvolvimento da cultura.

O tutoramento das plantas foi feito com fita de ráfia presa em linha de arame disposta cerca de 2,5 m acima da linha de cultivo e sustentada pela estrutura da estufa. No primeiro ciclo de cultivo as plantas não foram despontadas, enquanto para o segundo ciclo as plantas foram despontadas após a emissão do décimo cacho floral. Os demais tratos culturais (desbrotas,

desfolhas, raleio de frutos, rebaixamentos das plantas) e fitossanitários foram efetuados na medida em que se fizeram necessários.

O sistema de cultivo empregado foi em calhas, constituído por canais de cultivo de madeira (0,30 m de largura, com comprimentos de 7,5 m no primeiro experimento e 6,0 m no segundo experimento) dispostos em linhas duplas, com distância entre linhas duplas de 0,50 m; e distância entre linhas simples de 0,2 m. Os canais foram apoiados por cavaletes de madeira com altura máxima de 0,6 m, instalados de forma a proporcionar uma declividade de 3% para o escoamento da solução nutritiva até o reservatório. Este era de fibra de vidro, com capacidade de 1000 L e enterrado na extremidade de cota mais baixa dos canais de cultivo. Internamente, os canais de madeira foram revestidos com filme de polietileno dupla face (preto-branco), de maneira a formar canais plásticos para conduzir o lixiviado até a rede coletora. Os canais foram preenchidos com casca de arroz *in natura* (camada de 10 cm de altura).

A solução nutritiva empregada para a cultura do tomateiro teve a seguinte composição: macronutrientes (mmol litro⁻¹): 14,8 de NO₃⁻; 1,7 de H₂PO₄⁻; 3,25 de SO₄⁻²; 1,2 de NH₄⁺; 7,0 de K⁺; 5,2 de Ca⁺²; 2,2 de Mg⁺²; e micronutrientes (mg litro⁻¹): 3,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn; 0,6 de B; 0,02 de Cu e 0,01 de Mo. A condutividade elétrica (CE) da solução foi mantida em, aproximadamente, 2,3 dSm⁻¹. Para o preparo da solução nutritiva, foi utilizada água da chuva com CE = 0,0 dS m⁻¹.

Uma motobomba de ½ CV impulsionava a solução nutritiva para a extremidade de maior cota dos canais, através de um cano de PVC de ½ polegada. A partir deste ponto, a solução nutritiva era fornecida através de fitas gotejadoras direcionadas para a base das plantas, com vazão de 1,4 L h⁻¹. A solução nutritiva drenada retornava para o reservatório, formando um sistema fechado. Nas primeiras horas após o transplante, o sistema de irrigação permaneceu funcionando ininterruptamente com o objetivo de evitar eventual estresse hídrico às plantas. Após este período, a irrigação foi acionada durante 30 minutos a cada uma hora das 08h00min

às 19h00min, totalizando 12 irrigações diárias. Durante a noite, era acionada uma única vez, durante 15 minutos, para manutenção da umidade do sistema radicular.

O monitoramento da solução nutritiva era feito diariamente e realizado através da verificação dos valores de CE (empregando-se condutivímetro manual digital) e de pH (empregando-se pHmetro manual digital). O valor do pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 através da adição de solução de correção a base de hidróxido de sódio (NaOH 1N), quando necessário aumentar o pH, ou ácido sulfúrico (H₂SO₄) para diminuir o valor do mesmo. A reposição de nutrientes ou de água era realizada através da adição de solução estoque concentrada ou de água da chuva estocada. Uma vez ao mês foi feita a limpeza do reservatório, quando o nível da solução chegava ao limite mínimo de sucção da bomba.

Com a finalidade de avaliar o crescimento da cultura, durante e ao final do ciclo de cultivo foi feita a quantificação da massa fresca e seca total acumulada das plantas controle, incluindo os frutos colhidos durante o processo produtivo, bem como as folhas provenientes das desfolhas. Foram analisadas as variáveis: número de folhas emitidas, sendo consideradas aquelas com mais de 0.05 m de comprimento; comprimento total do caule e área foliar. Esta última foi obtida através do método dos quadrados, utilizando material transparente quadriculado (1,0 cm x 1,0 cm) que foi colocado sobre as folhas e contados o número de quadrados totalmente ou mais de 50% ocupados pelas folhas (De Lucena et al., 2011). A partir da área foliar (cm²) foi obtido o índice de área foliar (IAF) através da multiplicação da área foliar por planta pela densidade de plantas. As frações caule, folhas e frutos foram pesadas em balança de precisão para obtenção da massa fresca, e posteriormente foram secas em estufa com circulação forçada de ar (65 °C) para obtenção da massa seca. A massa seca vegetativa representa o resultado da soma das massas seca das folhas e do caule e, a massa seca total, a soma da massa seca vegetativa e dos frutos.

Para a coleta dos dados de produção e de qualidade dos frutos, foram realizadas colheitas semanais de frutos maduros de duas plantas por repetição, evitando as plantas de bordadura, os quais eram contados e pesados para obtenção do número de frutos, produtividade, massa média de frutos e teor de sólidos solúveis totais (°Brix). Este último foi obtido por meio de análises mensais de frutos com 100% da epiderme apresentando a coloração vermelha, através de refratômetro portátil. A partir dos dados de número de frutos colhidos e da densidade de plantio foram determinados os componentes do rendimento: número de frutos e produtividade da cultura (kg m^{-2}).

Os resultados obtidos passaram por um tratamento prévio, para análise descritiva e inferências de possíveis ‘outliers’. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (Anova) e teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade de erro para os fatores de tratamento qualitativos. Para os fatores de tratamento de natureza quantitativa, foi realizada análise de regressão. Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software GENES (Cruz, 2013).

Resultados

A análise de variância para a safra 2017/18 evidenciou efeito significativo para os fatores enxertia e número de hastes sobre as todas as variáveis de crescimento vegetativo, não havendo interação entre os fatores. Enquanto para a safra 2019/20 somente houve efeito significativo do fator enxertia sobre a variável massa seca de frutos, e observou-se interação significativa entre os fatores enxertia e número de hastes sobre as variáveis massa seca vegetativa e massa seca total da planta (Tabela 1). Todas as variáveis analisadas seguiram distribuição normal dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk ($w > p$).

No primeiro ciclo de cultivo (2017/18), as plantas enxertadas apresentaram maior número de folhas, índice de área foliar (IAF), comprimento do caule, massa seca de frutos,

vegetativa e total da planta (Tabela 1). No segundo ciclo de cultivo (2019/20), as plantas enxertadas foram superiores quanto ao IAF e à produção de massa seca de frutos. No entanto, a enxertia não afetou o número de folhas.

Tabela 1. Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre o número de folhas, índice de área foliar (IAF), comprimento do caule, massa seca (MS) de frutos, vegetativa e total das plantas de tomateiro cultivadas em substrato de casca de arroz *in natura*. Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.

Fatores	Nº de folhas m ⁻²	IAF	Comprimento do caule (m)	MS de frutos m ⁻²	MS vegetativa (g m ⁻²)	MS Total (g m ⁻²)
Safra 2017/18						
<u>Enxertia</u>						
Pl.* enxertadas	268 A	8,9 A	4,8 A	1226,3 A	1524,0 A	2750,3 A
Pl. não enxertadas	241 B	6,7 B	4,0 B	1056,8 B	987,3 B	2044,1 B
<u>Nº** de hastes planta⁻¹</u>						
Uma haste	279 A	9,2 A	4,8 A	1213,0 A	1508,8 A	2721,8 A
Duas hastes	230 B	6,5 B	4,1 B	1070,1 B	1002,5 B	2072,6 B
Média	255,0	7,8	4,4	1141,5	1255,6	2397,2
CV%	7,9	17,8	10,2	11,2	16,9	13,2
Safra 2019/20						
<u>Enxertia</u>						
Pl. enxertadas	150 ^{ns}	5,6 A	-	508,4 A	--	--
Pl. não enxertadas	150	4,9 B	-	426,9 B	--	--
<u>Nº de hastes planta⁻¹</u>						
Uma haste	150 ^{ns}	5,5 ^{ns}	-	486,5 ^{ns}	--	--
Duas hastes	150	5,0	-	448,8	--	--
Média	150,0	5,3	-	467,7	984,9	1452,4
CV%	2,4	16,3	-	11,1	8,8	12,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

* Plantas (Pl.), ** Número (Nº).

Com respeito ao efeito do número de hastes, no primeiro ciclo, o cultivo de plantas com haste única resultou em um maior número de folhas, IAF, comprimento do caule, produção de massa seca de frutos, vegetativa e total da planta em relação as plantas conduzidas com duas

hastes (Tabela 1). Já, no segundo ciclo de cultivo, o número de hastes não afetou o número de folhas, o IAF, o comprimento do caule e a produção de massa seca de frutos.

Ao observarmos a massa seca total das plantas podemos notar que a partição desta massa se deu de forma diferente entre os dois ensaios, sendo que, para o primeiro experimento a fração correspondente aos frutos representou 47.6% e a parte vegetativa, que soma folhas, cacho floral e caule, representou 52.4%. No segundo ensaio a partição dos frutos correspondeu a 32.2% e a parte vegetativa a 67.8%.

Na Tabela 2 é apresentada a interação entre os fatores enxertia e número de hastes para as variáveis massa seca vegetativa e total da planta, referente ao segundo ciclo de cultivo. As plantas enxertadas e não enxertadas não apresentaram diferenças entre si quando conduzidas em haste única no que diz respeito a ambas as variáveis. Por outro lado, quando conduzidas com duas hastes, as plantas enxertadas acumularam maior massa seca frente às plantas não enxertadas. Para as plantas não enxertadas, a condução em uma haste propiciou maior produção de massa seca vegetativa e total das plantas do que a condução com duas hastes.

Tabela 2. Interação dos fatores de tratamento enxertia e número de hastes por planta para as variáveis massa seca vegetativa e massa seca total das plantas de tomateiro em sistema de produção de calhas com substrato de casca de arroz *in natura*. Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.

Fatores	Massa seca vegetativa (g m ⁻²)	
	Condução em Haste única	Condução em Duas hastes
Plantas enxertadas	1027,8 Aa	1023,4 Aa
Plantas não enxertadas	1052,8 Aa	835,7 Bb
	Massa seca total (g m ⁻²)	
	Condução em Haste única	Condução em Duas hastes
Plantas enxertadas	1590,5 Aa	1522,0 Aa
Plantas não enxertadas	1531,4 Aa	1165,6 Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula, na coluna, e minúscula, na linha, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Quanto aos caracteres produtivos (Tabela 3), na safra 2017/18, independentemente do número de hastes, as plantas enxertadas apresentaram maior número, produtividade e massa média de frutos (Tabela 3). Na safra 2019/20, as plantas enxertadas foram superiores quanto ao número e produtividade de frutos. Em ambos os ciclos, a enxertia não teve efeito sobre a concentração de sólidos solúveis totais dos frutos.

Tabela 3. Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre o número, produtividade, massa média e sólidos solúveis totais (SST) de frutos de tomateiro cultivado em substrato de casca de arroz *in natura*. Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.

Fatores	Número frutos m ⁻²	Produtividade (kg m ⁻²)	Massa média (g fruto ⁻¹)	SST (°Brix)
Safra 2017/18				
<u>Enxertia</u>				
Plantas enxertadas	243 A	29,2 A	120,9 A	4,2 ^{ns}
Plantas não enxertadas	214 B	24,2 B	113,0 B	4,2
<u>Número de hastes planta⁻¹</u>				
Uma haste	235 ^{ns}	28,0 A	119,5 A	4,2 ^{ns}
Duas hastes	222	25,4 B	114,4 B	4,2
Média	228,0	26,7	116,9	4,2
CV%	10,6	12,8	5,3	3,6
Safra 2019/20				
<u>Enxertia</u>				
Plantas enxertadas	80 A	11,4 A	144,3 ^{ns}	4,2 ^{ns}
Plantas não enxertadas	68 B	9,2 B	136,2	4,1
<u>Número de hastes planta⁻¹</u>				
Uma haste	76 ^{ns}	10,8 ^{ns}	143,1 ^{ns}	4,1 ^{ns}
Duas hastes	72	9,8	137,4	4,2
Média	74,0	10,3	140,3	4,2
CV%	18,4	18,8	13,4	5,3

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.
ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Em relação à forma de condução das plantas, aquelas conduzidas com uma haste foram mais produtivas e apresentaram maior massa média dos frutos na primeira safra (Tabela 3). Na segunda safra não houve diferenças significativas para nenhuma das variáveis produtivas analisadas.

Quanto à distribuição da colheita ao longo do ciclo produtivo na safra 2017/2018 (Figura 1), tanto as plantas enxertadas como as plantas não enxertadas apresentaram produção crescente gradativa até meados do 240º DAT, com posterior estabilização.

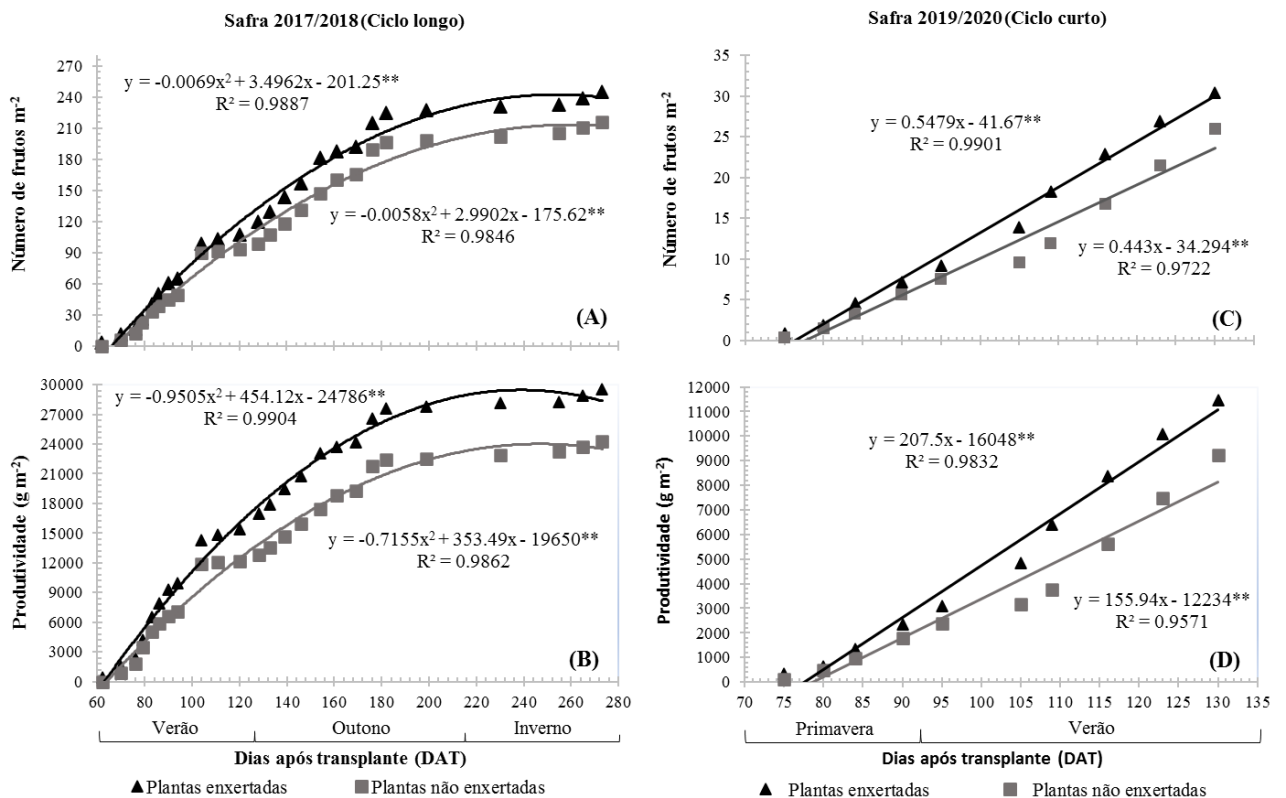


Figura 1. Distribuição da colheita dos frutos ao longo do ciclo produtivo de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro, com variação no número de hastes, no cultivo em substrato de casca de arroz *in natura*. Safra 2017/18 (primavera/inverno) Capão do Leão/RS e safra 2019/20 (primavera/verão) Jaguari/RS.

As Figuras 1A e 1B indicam que as plantas enxertadas demonstraram um acréscimo de produtividade diário de 454 g m⁻², aliado a um aumento diário de 3,5 frutos m⁻². As plantas não enxertadas apresentaram uma taxa de ganho produtivo diário inferior, com acréscimo de 3,0 frutos e 353 gramas m⁻². Os coeficientes de determinação (R²) foram acima de 0,98 para ambas as variáveis e tipos de planta, indicando que grande parte da variação total do efeito do fator foi explicada pela alteração na variável independente.

Na safra 2019/2020, a produção se deu de forma crescente linear (Figuras 1C e 1D). As plantas enxertadas seguiram apresentando um ganho médio diário superior ao das plantas não enxertadas. As plantas enxertadas aumentaram diariamente 0,5 frutos e 208 gramas por m⁻² e as plantas não enxertadas 0,4 frutos e 156 gramas m⁻² ao longo do ciclo produtivo. Os coeficientes de determinação (R²) foram acima de 0,95 para ambas as variáveis e tipos de planta.

Discussão

Os resultados indicaram que, indiferentemente ao local, safra e ciclo de cultivo, as plantas enxertadas apresentaram maior crescimento vegetativo e reprodutivo, representados pelo superior IAF e a maior produção de massa seca dos órgãos vegetativos aéreos e dos frutos (Tabela 1), e melhor desempenho produtivo, através da produção de um maior número de frutos e, consequentemente, maior produtividade (Tabela 3) frente às plantas não enxertadas no cultivo em substrato. Resultados semelhantes foram obtidos por Turhan et al. (2011), em cultivo no solo; Rahmatian et al. (2014) e Savvas et al. (2017), em sistemas hidropônicos de cultivo.

Quanto às variáveis de crescimento (vegetativo e reprodutivo; Tabela 1), na safra 2017/18 de ciclo longo, em que as plantas não tiveram seu crescimento apical precocemente limitado pela despona, as plantas enxertadas apresentaram resultados muito superiores aos das plantas não enxertadas para todas as variáveis, evidenciando seu maior vigor, corroborando resultados semelhantes, obtidos por Ntatsi et al. (2014) e Savvas et al. (2017). Por outro lado,

na safra 2019/20, não houve efeito da enxertia sobre as variáveis número de folhas (Tabela 1), devido ao desenvolvimento das plantas ter sido limitado através da poda apical. No entanto, o IAF e a massa seca de frutos (Tabela 1) das plantas enxertadas seguiu sendo superior, assim como a produção de massa seca vegetativa das plantas enxertadas conduzidas com duas hastes (Tabela 2).

A enxertia não alterou o teor de sólidos solúveis dos frutos (Tabela 3), por consequência, não afetou a qualidade dos frutos no que se refere à concentração de açúcares. Alguns trabalhos anteriores já indicavam que o uso de plantas enxertadas não diferiu de plantas auto enxertadas ou não enxertadas em relação ao efeito sobre os teores de acidez total titulável, licopeno e β -caroteno dos frutos (Djidonou et al., 2016) e sobre o pH, firmeza, acidez titulável, sólidos solúveis totais, e índice de maturação (Gomes et al., 2017). Não obstante, a qualidade dos frutos de tomate contempla outros aspectos, além da concentração de sólidos solúveis, e pode ter relação com diversos fatores relacionados à própria enxertia, como características das cultivares de porta-enxerto, compatibilidade e união entre enxerto e porta-enxerto, assim como à ocorrência ou não de fatores de estresses bióticos e abióticos e o tempo de duração dos mesmos (Riga, 2015). Isso contribui para justificar a discrepância verificada nos resultados de ausência de efeito da enxertia sobre o teor de sólidos solúveis, observada no presente trabalho, em relação a pesquisas em que a enxertia propiciou maior concentração de sólidos solúveis, firmeza e teor de vitamina C (Riga et al., 2016; Rahmatian et al., 2014), ou a pesquisas em que esta afetou negativamente a concentração de sólidos solúveis, acidez titulável e vitamina C (Al-Harbi et al., 2017; Turhan et al., 2011).

As melhores respostas das plantas enxertadas sobre as plantas não enxertadas podem ser atribuídas ao maior tamanho e vigor do seu sistema radicular, devido ao uso de porta-enxerto híbrido obtido por cruzamento interespecífico entre *Solanum. lycopersicum* e *Solanum habrochaites* (Djidonou et al., 2016; Velasco-Alvarado et al., 2016). Isso pode ter garantido

maior capacidade de absorção de água e nutrientes minerais, com reflexos positivos sobre a produção de massa seca dos órgãos aéreos das plantas (Tabela 1) e, conseqüentemente, sobre os componentes do rendimento, principalmente, número de frutos, e no caso da safra de 2017/18, também, massa média de frutos (Tabela 3).

Adicionalmente, os materiais utilizados para porta-enxerto de plantas são selecionados por suas características de conferir resistência a doenças e pragas de solo e condições de estresses bióticos e abióticos, buscando-se superar condições adversas de produção. A característica de conferir maior vigor e crescimento vegetativo (Tabela 1) geralmente é intrínseca às cultivares destinadas para estes fins e dessa forma pode vir a promover resultados produtivos superiores, como efetivamente ocorreu neste trabalho (Tabela 3), mesmo na ausência de fatores de estresse biótico, como doenças e pragas de solo, assim como de estresses abióticos relacionados ao suprimento de água e nutrientes minerais, uma vez que as características de elevada frequência de fornecimento da solução nutritiva é própria do sistema de cultivo em substrato.

Para possibilitar a comparação dos resultados, a condução em haste única e em duas hastes foi feita de maneira a manter o número de hastes por metro quadrado. Desta maneira, no ciclo longo (2017/18), o cultivo de plantas de haste única apresentou maior crescimento vegetativo, uma vez que apresentou maior número de folhas, IAF, comprimento do caule e produção de massa seca vegetativa (Tabela 1). Como consequência, promoveu uma superior produção de massa seca de frutos e total das plantas (Tabela 1). Isso proporcionou ganhos de produtividade, devidos, principalmente, à produção de frutos com maior massa média (Tabela 3).

Não obstante, na safra mais curta (2019/20), o efeito do número de hastes, praticamente, foi inexistente, uma vez que o cultivo de plantas com haste única somente foi superior ao de duas hastes quanto à produção de massa seca vegetativa das plantas não enxertadas (Tabela 2).

Desta forma, o cultivo de plantas com duas hastes resultou em valores de massa seca dos frutos e das demais variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo (Tabela 1), bem como, de produção de frutos (Tabela 3) similares aos das plantas com uma haste. Considerando que o número de hastes não afetou a concentração de sólidos solúveis totais (Tabela 3), pode-se dizer que não atuou sobre a qualidade dos frutos quanto à concentração de açúcares, em ambos os ciclos de cultivo.

Considerando que o primeiro ciclo de cultivo foi longo, com a condução das plantas até o 18º cacho floral e, conseqüentemente, com necessidade de rebaixamento do caule ao redor da linha de cultivo e desfolha intensiva das plantas (manejo conhecido como “carrossel holandês”), as plantas cultivadas com haste única foram mais facilmente manejadas, o que evitou a quebra de hastes ao executar este trato cultural. Desta forma, o superior custo para a aquisição de um maior número de mudas para o cultivo de plantas de haste única é, possivelmente, compensado pela maior eficiência de emprego da mão-de-obra, associada a um acréscimo na produtividade de 2,6 kg m⁻² (Tabela 3) em relação ao cultivo de plantas com duas hastes na metade da densidade de plantio. Por outro lado, na safra de 2019/20, em um ciclo curto, em que as plantas foram conduzidas somente até o décimo cacho floral (quando atingiram a altura do fio de sustentação), sendo desnecessário o manejo de rebaixamento do caule, o que significa menor dispêndio com mão de obra, o cultivo de plantas com duas hastes pode ser viável, ainda mais, tendo em conta que não houve diferença significativa de produtividade e de massa média dos frutos (Tabela 3) quando comparado ao plantio de plantas de haste única.

O ciclo de cultivo estendido é uma técnica viável desde que a exigência básica de boas condições fitossanitárias das plantas seja atendida. Não obstante, este tipo de manejo pode expressar resultados produtivos ainda mais satisfatórios em condições de ambientes protegidos climatizados e/ou regiões de clima com inverno ameno, com baixa ocorrência de geadas. Pois, dessa forma, as plantas conseguem manter seu crescimento vegetativo e sua produção de forma

constante e crescente. A diminuição dos valores de radiação solar incidente associada às baixas temperaturas por longos períodos durante o inverno diminuem a taxa de crescimento das plantas e podem afetar significativamente o pegamento e desenvolvimento dos frutos (Ntatsi, et al., 2014; De Koning, 1990). E por este motivo que a partir do 180° DAT o número de frutos e a produtividade da safra 2017/18 tenderam a uma certa estabilidade, sem grandes aumentos durante o período de inverno no Rio Grande do Sul (Figuras 1A e 1B).

Por outro lado, o inverno é a época do ano em que o preço do tomate tradicionalmente é mais elevado no Estado, atingido valores até duas ou três vezes superior ao das outras épocas do ano. Dessa forma, a pouca produtividade, possivelmente, ainda seja rentável para a manutenção das plantas em produção mesmo em ambientes não climatizados, desde que tomadas algumas medidas de manejo da estrutura de cultivo, como fechamento e vedação das cortinas laterais e portas no início da tarde para armazenamento de calor. Além disso, dependendo do tamanho do ambiente protegido e das condições de cada produtor, é possível a instalação de aquecedores programados para entrar em funcionamento durante a madrugada ou o uso de aquecimento com fornalhas para evitar a morte das plantas em noites com previsão de ocorrência de geada intensa, e assim reduzir as perdas de produtividade.

Por fim, em resposta à hipótese formulada na introdução, pode-se afirmar que, na safra longa (2017/18) do ponto de vista de crescimento e de produtividade, plantas enxertadas com duas hastes são inferiores às plantas enxertadas de haste única. O mesmo pode-se dizer para plantas não enxertadas. Já, na safra de 2019/20 (ciclo curto), as plantas enxertadas apresentaram condições de manter maior crescimento quando conduzidas com duas hastes enquanto as plantas não enxertadas diminuíram consideravelmente seu crescimento vegetativo (Tabela 1) quando conduzidas da mesma forma, porém o crescimento reprodutivo e a produtividade de frutos (Tabela 3) foram equivalentes para as duas conduções. Portanto, para ciclos curtos, tanto

para plantas enxertadas como de pé franco, pode-se optar, pelo cultivo com duas hastes, com economia de 50% no custo com as mudas, com vantagens produtivas para as plantas enxertadas.

Conclusões

Plantas enxertadas apresentam maior crescimento vegetativo e reprodutivo, assim como maior produtividade de frutos do que plantas de pé franco em sistema de cultivo em substrato, independentemente do número de hastes.

A qualidade dos frutos, no que se refere à concentração de açúcares, não é afetada pela enxertia, sendo o tamanho médio do fruto favorecido em ciclo longo.

Em ciclo longo, tanto para plantas enxertadas como de pé franco, o cultivo com haste única promove maior crescimento da cultura e é mais produtivo do que o de plantas com duas hastes. Em ciclo curto, do ponto de vista de crescimento reprodutivo e produtividade de frutos, para ambos os tipos de plantas, o cultivo com duas hastes se equipara ao de plantas de haste única.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Pelotas, à CAPES e ao CNPq.

Referências

- Al-Harbi, A., Hejazi, A. and Al-Omran, A. 2017. Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* 24, 1274-1280. Doi:10.1016/j.sjbs.2016.01.005.
- Cruz, C.D. 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* (35)3, 271-276. Doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251.

- De Koning, A.N.M., 1990. Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. *Sci. Hortic.* 45, 117–127. Doi:10.1016/0304-4238(90)90074-O.
- De Lucena, R.R.M., Batista, T.M.V., Dombroski, J.L.D., Lopes, W.A.R., and de Oliveira, G.S.R. 2011. Measurement of acerola leaf area. *Caatinga*. 24(2), 40-45.
- Djidonou, D., Simonne, A.H., Koch, K.E., Brecht, J.K. and Zhao, X. 2016. Nutritional quality of field-grown tomato fruit as affected by grafting with interspecific hybrid rootstocks. *Hort. Sci* 51(12), 1618-1624. Doi:10.21273/HORTSCI11275-16.
- Djidonou, D., Zhao, X., Brecht, J.K., and Cordasco, K.M. 2017. Influence of interspecific hybrid rootstocks on tomato growth, nutrient accumulation, yield, and fruit composition under greenhouse conditions. *Hort. Tech.* 26(6), 868-877. Doi:10.21273/HORTTECH03810-17.
- Gaion, L.A., Braz, L.T. and Carvalho, R.F. 2017. Grafting in vegetable crops: a great technique for agriculture. *Int. J. Veg. Sci.* 24(1), 85-102. Doi:10.1080/19315260.2017.1357062.
- Gomes, R.F., Castoldi, R., Melo, D.M., Braz, L.T., dos Santos, D.M.M. 2017. Rootstocks for tomato conducted with four stems. *Rev. Ceres.* 64(2), 186-191. Doi:10.1590/0034-737X201764020011.
- Goto, R., Santos, H.S., and Cañizares, K.A.L. 2003. Enxertia em hortaliças. UNESP, São Paulo, SP.
- Ntatsi, G., Savvas, D., Ntatsi, G., Kläring, H.P. and Schwarz, D. 2014. Growth, yield, and metabolic responses of temperature-stressed tomato to grafting onto rootstocks differing in cold tolerance. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 139(2), 230-243. Doi:10.21273/JASHS.139.2.230.
- Peil, R.M.N. 2003. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. *Cienc. Rural.* (33)6, 1169-1177. Doi:10.1590/S0103-84782003000600028.

- Peil, R.M.N. and López-Gálvez, J. 2004. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. Hort. Bras. 22(2), 265-270.
- Rahmatian, A., Delshad, M. and Salehi, R. 2014. Effect of grafting on growth, yield and fruit quality of single and double stemmed tomato plants grown hydroponically. Hort. Environ. Biotechnol. 55(2), 115-119. Doi: 10.1007/s13580-014-0167-6.
- Riga, P. 2015. Effect of rootstock on growth, fruit production and quality of tomato plants grown under low temperature and light conditions. Hort. Environ. Biotechnol. 56(5), 626-638. Doi: 10.1007/s13580-015-0042-0.
- Riga, P., Benedicto, L., García-Flores, L., Villaño, D., Medina, S. and Gil-Izquierdo, A. 2016. Rootstock effect on serotonin and nutritional quality of tomatoes produced under low temperature and light conditions. J Food Compos Anal. 46, 50-59. Doi: 10.1016/j.jfca.2015.11.003.
- Savvas, D., Öztekin, G.B., Tepecik, M., Ropokis, A., Tüzel, Y., Ntatsi, G. and Schwarz, D. 2017. Impact of grafting and rootstock on nutrient-to-water uptake ratios during the first month after planting of hydroponically grown tomato. J Hort Sci Biotech. 2017, 1-9. Doi: 10.1080/14620316.2016.1265903.
- Singh, H., Kumar, P., Chaudhari, S. and Edelstein, M. 2017. Tomato grafting: a global perspective. Hort. Sci. 52(10), 1328-1336. Doi: 10.21273/HORTSCI11996-17.
- Turhan, A., Ozmen, N., Serbeci, M.S., and Seniz, V. 2011. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. Hort. Sci. 38(4), 142-149. Doi:10.17221/51/2011-HORTSCI.
- Velasco-Alvarado, M.J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A.M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. and Lobato-Ortiz, R. 2016. Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) injertado. Interciencia. 41(10), 703-708.

**5 Artigo 2: Ecofisiologia da produção de plantas enxertadas e de pé franco de
tomateiro cultivadas em substrato**

(Segundo Normas da Revista Scientia Horticulturae)

Ecofisiologia da produção de plantas enxertadas e de pé franco de tomateiro cultivadas em substrato

Resumo

O uso da técnica de enxertia em hortaliças vai além de apenas conferir resistência a patógenos de solo, e pode ser utilizada para superação de condições de estresses abióticos. Neste sentido, a enxertia pode ser uma aliada no cultivo sem solo de hortaliças, sendo o objetivo deste trabalho avaliar o crescimento e a produção, assim como definir a soma térmica e o limite trófico de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro cultivadas em substrato. Os experimentos foram conduzidos em ambiente protegido em uma propriedade particular na cidade de Jaguari/RS, em duas safras de cultivo, verão/inverno no ano de 2019 e primavera/verão nos anos 2019 e 2020. Foram utilizadas duas cultivares de tomateiro, uma do tipo italiano e outra do tipo gaúcho para enxerto e como plantas não enxertadas. O porta enxerto foi escolhido por ter como característica conferir vigor e longevidade às plantas. No ensaio de verão/inverno, os dados produtivos foram obtidos por meio da colheita semanal dos frutos e os dados de crescimento através de coletas periódicas de plantas inteiras. No segundo ensaio, de primavera/verão, a produção foi obtida pela colheita semanal dos frutos e a biomassa das plantas obtida ao final do ensaio. As plantas enxertadas apresentam maior crescimento vegetativo que as plantas não enxertadas independente da safra de cultivo. No entanto, as plantas não enxertadas são mais produtivas em ciclo de cultivo com restrição de luminosidade e baixas temperaturas. Em condições normais de temperatura e luminosidade as plantas enxertadas apresentam maior magnitude produtiva não significativa. As plantas enxertadas exigem maior soma térmica para completar seus estádios fenológicos. O limite trófico para plantas enxertadas e de pé franco das cultivares de tomateiro do tipo salada e italiano é de 4,8 MJ m⁻² dia⁻¹.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L., estresse abiótico, limite trófico, soma térmica, crescimento.

Introdução

O cultivo do tomateiro em sua maior parte é realizado no campo, no entanto, nas últimas décadas, o cultivo em ambiente protegido aumentou significativamente como forma de proteger a cultura de intempéries climáticas e melhorar a produção. Embora em ambiente protegido, o cultivo convencional no solo desta cultura tem enfrentado diversos problemas como o surgimento de diferentes raças fisiológicas, estirpes ou grupos de patógenos de solo; estas dificuldades podem ser solucionadas ou amenizadas com o uso de plantas enxertadas.

A enxertia em tomateiro visa aliar os fatores resistência de plantas, produtividade e qualidade de frutos a fim de melhorar a produção em vários aspectos, sendo usada tanto nas produções no campo quanto em ambiente protegido. No entanto, a enxertia na cultura do tomateiro tem apresentado diversidade de respostas. Djidonou et al. (2016) relatam incrementos de produção em plantas enxertadas frente às plantas não enxertadas, enquanto, Loos et al. (2009) observaram que plantas enxertadas podem produzir mais ou menos que plantas não enxertadas, dependendo do porta-enxerto utilizado e por outro lado, Pedó et al. (2013) relataram que as plantas não enxertadas foram mais produtivas que as enxertadas.

Em contrapartida, uma parte significativa dos benefícios do uso de plantas enxertadas nos cultivos no solo perde o sentido quando trata-se dos sistemas de cultivo sem solo de hortaliças (hidroponia ou em substrato), uma vez que uma das premissas dos sistemas de cultivo sem solo é a isenção de organismos patogênicos no ambiente radicular, não havendo, a princípio, a necessidade da utilização de mudas enxertadas. Porém, muitos produtores têm relatado a utilização da enxertia no cultivo do tomateiro em substrato em ambiente protegido,

com alegação de que as plantas enxertadas apresentam maior vigor, produtividade e longevidade frente às plantas não enxertadas.

Outro fator em evidência para uso de plantas enxertadas de tomateiro em cultivo sem solo é que a enxertia pode oferecer outros benefícios, além da função de dar resistência às pragas e doenças do solo. Diversos autores destacam o emprego da enxertia para superação de condições ambientais adversas, como estresses por altas e baixas temperaturas (Muneer et al., 2016; López-Marín et al., 2013), salinidade (İşeri et al., 2015), seca (Jimenez et al., 2013; Altunlu e Gul, 2012) e inundação (Bhatt et al., 2015; Schwarz et al., 2010).

Neste sentido, ao oferecer condições para tolerância a baixas temperaturas, a enxertia seria uma aliada para produções de tomate no período de outono/inverno na região sul do país, época do ano em que os preços dos frutos geralmente são superiores aos normalmente praticados na primavera e verão. Esta diferença de valores ocorre por se tratar de estações consideradas críticas para a produção de tomate, devido à baixa incidência de radiação solar e às baixas temperaturas.

Para hortaliças de clima tropical e subtropical, existe um valor mínimo de radiação solar global diária necessário para a produção de carboidratos pela fotossíntese de forma suficiente para promover o crescimento (acúmulo significativo de massa seca) das plantas. Este valor denomina-se limite trófico, sendo referenciado pela FAO (2013), de forma genérica, como $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No entanto, no estado do Rio Grande do Sul (RS), os meses de maio a agosto, caracteristicamente, apresentam valores abaixo deste limite, conforme relatado por Beckmann et al. (2006) para a região de Pelotas/RS.

Autores como Albuquerque Neto e Peil (2012) e Rosa (2015) já observaram o adequado desenvolvimento da cultura do minitomateiro em experimentos conduzidos em estufas durante o inverno de Pelotas/RS. Inclusive, Perin et al. (2018) determinaram o valor de $3,6 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ como o limite trófico para duas cultivares de minitomateiro durante o

outono/inverno nesta mesma localidade. Porém, este limite ainda não foi determinado para outros grupos de tomateiros, com frutos de maior tamanho, que representam uma maior demanda de carboidratos para o seu crescimento. Tampouco há estudos que indiquem se há diferenças entre os limites tróficos de plantas enxertadas de tomateiro em relação às plantas não enxertadas.

Diante de todos os possíveis benefícios associados à utilização da enxertia na cultura do tomateiro, estudos relacionados ao comportamento ecofisiológico e ao manejo de plantas de tomateiro enxertado em comparação às plantas não enxertadas em sistemas de cultivo sem solo demandam a realização de pesquisas que levem à otimização da produção, inclusive em épocas do ano antes consideradas impróprias para o cultivo da cultura. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a produção e a qualidade dos frutos, assim como definir a soma térmica e o limite trófico de plantas enxertadas e não enxertadas de tomateiro do tipo salada e do tipo italiano, cultivadas em substrato sob condições de restrição de radiação solar e temperatura.

Material e métodos

Os experimentos foram conduzidos em uma propriedade rural particular em Jaguari/RS, Brasil (29°30'S 54°41'W) nos anos de 2019 e 2020. O primeiro ciclo de cultivo foi transplantado em 25 de fevereiro de 2019 e conduzido até 05 de agosto de 2019 (160 dias), com desenvolvimento vegetativo no verão e início do desenvolvimento produtivo nas estações de outono e inverno. O segundo ciclo foi transplantado em 19 de setembro de 2019, no início da primavera e conduzido até 27 de janeiro de 2020, início do verão (130 dias).

O primeiro ensaio foi conduzido sob delineamento experimental inteiramente casualizados, sob esquema trifatorial (2 x 2 x 19), resultante da combinação de dois níveis do fator cultivar (italiano e gaúcho), dois níveis do fator tipo de planta (enxertada e não enxertada)

e 19 níveis do fator coleta (plantas coletadas periodicamente). O segundo experimento foi conduzido em blocos casualizados em esquema fatorial (2 x 2), como resultado da combinação dos níveis cultivar e tipo de planta.

As mudas para condução dos trabalhos foram adquiridas do viveiro Oriplanta de Nova Bassano/RS. Foram utilizadas mudas da cultivar de tomateiro Multifort® (Seminis) para porta enxerto. O enxerto e as mudas das plantas não enxertadas foram da cultivar híbrida Guará® (HM CLAUSE), do tipo italiano, e da cultivar híbrida Rally® (TOPSEED), do tipo gaúcho, ambas de hábito de crescimento indeterminado. A técnica de enxertia utilizada foi do tipo inglês simples, as mudas foram cortadas em ângulo aproximado de 45° e unidas por cliques plásticos de pressão. A condução das plantas foi feita em haste única em espaçamento entre plantas de 0,4 m (população de 2,93 plantas m⁻²).

O ambiente de cultivo foi em estufa modelo “Teto em arco”, de estrutura mista coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150µm de espessura; disposta no sentido norte-sul, com dimensões de 7 m x 30 m, compreendendo a área de 210 m², pé direito de 3,0 m e altura máxima de 4,5 m. O manejo do ambiente protegido foi efetuado diariamente através da abertura e fechamento das janelas laterais e portas da estufa de acordo com a variação das condições ambientais.

As plantas foram tutoradas com fita de ráfia presa em linha de arame disposta cerca de 2,0 m acima da linha de cultivo e sustentada pela estrutura da estufa. Os demais tratamentos culturais (desbrotas, desfolhas, raleio de frutos, rebaixamentos das plantas) e fitossanitários foram efetuados na medida em que se fizeram necessários. Durante os experimentos, foram monitoradas diariamente as variáveis meteorológicas de temperatura do ar e umidade relativa do ar no interior da estufa, e radiação solar global incidente no interior e exterior da estufa.

As plantas foram cultivadas em vasos contendo oito litros de casca de arroz carbonizada, estes foram dispostos sobre canais de madeira (0,30 m de largura e 7,5 m de comprimento)

dispostos em linhas duplas, com distância entre linhas duplas de 1,2 m e distância entre linhas simples de 0,5 m. Internamente, os canais foram revestidos com filme de polietileno dupla face (preto-branco). Os canais estavam apoiados por cavaletes de madeira com altura máxima de 0,6 m, instalados de forma a proporcionar uma declividade de 3% para o escoamento da solução nutritiva até o reservatório, a fim de formar um sistema de cultivo do tipo fechado, com reaproveitamento do lixiviado.

O sistema de fertirrigação foi composto por um reservatório de fibra de vidro com capacidade de 1000 L, enterrado na extremidade de cota mais baixa dos canais de cultivo. Um conjunto moto-bomba de $\frac{1}{2}$ CV, impulsionava a solução nutritiva para a extremidade de maior cota dos canais, através de um cano de PVC de $\frac{1}{2}$ polegada. A partir desse ponto, a solução nutritiva foi fornecida através de fitas gotejadoras direcionadas para a base das plantas, com gotejadores espaçados em 0,40 m e vazão individual de $1,4 \text{ L h}^{-1}$. A fertirrigação foi feita por meio de acionamento automático através de temporizador a cada 1,5 hora, com pulsos de 15 minutos no intervalo das 07h00min às 19h00min, totalizando nove irrigações diárias. Durante a noite, o sistema foi acionado uma única vez durante 05 min para manutenção da umidade do sistema radicular.

Para o cálculo da solução nutritiva utilizada foram levadas em consideração soluções referenciadas e também algumas utilizadas por agricultores, resultando na seguinte composição de macronutrientes (mmol litro^{-1}): 14,8 de NO_3^- ; 1,7 de H_2PO_4^- ; 3,25 de SO_4^{2-} ; 1,2 de NH_4^+ ; 7,0 de K^+ ; 5,2 de Ca^{+2} ; 2,2 de Mg^{+2} ; e micronutrientes (mg litro^{-1}), 3,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn; 0,6 de B; 0,02 de Cu e 0,01 de Mo, com condutividade elétrica (CE) de aproximadamente $2,3 \text{ dSm}^{-1}$. Os fertilizantes utilizados para composição da solução foram nitrato de cálcio da Noruega, sulfato de amônio, nitrato de potássio, sulfato de magnésio, monofosfato de potássio, sulfato de potássio, sulfato de manganês, sulfato de zinco, sulfato de cobre, ácido bórico,

molibdato de sódio e ferro quelatizado 6%. O preparo da solução nutritiva foi feito utilizando água da chuva com $CE = 0,0 \text{ dS m}^{-1}$.

A solução nutritiva foi monitorada diariamente através das medidas de CE (empregando-se condutivímetro manual digital) e de pH (empregando-se pHmetro manual digital). A CE de entrada no sistema de fertirrigação dependia da CE de retorno do lixiviado, aferida antes da primeira irrigação, e poderia variar entre 0,0 a $2,3 \text{ dSm}^{-1}$, a fim de evitar a salinização do substrato. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5 através da adição de solução de correção a base de hidróxido de sódio (NaOH 1N) e ácido sulfúrico (H_2SO_4).

No experimento de verão/outono foram feitas coletas periódicas de plantas inteiras com a finalidade de definir o limite trófico para a cultura. As avaliações iniciaram no dia do transplante para obtenção da massa inicial das mudas. A partir da segunda coleta, as plantas foram coletadas de forma aleatória (sorteio), sempre respeitando os tratamentos e dispensando-se as plantas de bordadura. As variáveis analisadas foram: produção; massa média, massa seca e tamanho dos frutos; teor de sólidos solúveis totais (SST; °Brix), obtido com refratômetro portátil por meio da análise dos frutos com 100% da epiderme com a coloração vermelha; número de folhas emitidas, sendo consideradas aquelas com mais de 0,05 m de comprimento; área foliar medida através do método dos quadrados conforme de Lucena et al. (2011); altura de planta; massa fresca de cada uma das frações das plantas (frutos, folhas e caule); e massa seca obtida com a secagem do material até peso constante em estufa com circulação forçada de ar (65°C). As variáveis de taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) foram calculadas conforme método descrito por Benincasa (2003).

Os frutos comerciais foram colhidos semanalmente, e aqueles colhidos nos intervalos entre as coletas das plantas foram contados e pesados para obtenção dos dados produtivos, e os dados de massa seca referenciados às respectivas plantas para posterior somatório no momento

da coleta total das plantas. Os frutos não comerciais obtidos nas coletas das plantas inteiras tiveram sua massa seca alocada na variável de massa seca dos frutos.

No segundo experimento, os dados produtivos e qualitativos dos frutos foram obtidos durante as colheitas e os dados de biomassa apenas ao final do experimento, utilizando a mesma metodologia do primeiro ensaio.

Os dados de radiação solar global incidente no interior e exterior da estufa foram obtidos por meio de tubos solarímetros artesanais com placas de circuito impressa (Duarte et al., 2010), instalados no mesmo sentido (norte/sul) no interior do ambiente protegido (sobre o dossel da cultura), e no exterior do ambiente de forma a não sofrer nenhum tipo de sombreamento.

A temperatura do ar foi obtida por um conjunto de termômetros de bulbo seco e bulbo úmido (modelo 107 sonda de temperatura). Os dados foram coletados e armazenados por um sistema de aquisição de dados (datalogger – CR1000), obtendo-se os valores diários de radiação solar incidente (G_i). Os dados de soma térmica foram obtidos conforme metodologia de cálculo e valores de temperaturas base e ótimas utilizados por Schmidt et al (2017).

Após a obtenção final dos dados, estes passaram por tratamento prévio, para análise descritiva e inferências de possíveis ‘outliers’. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (Anova) e teste de comparação de médias de Tukey e Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Todas as análises foram realizadas com o software GENES (Cruz, 2013).

Resultados

Conforme análise estatística todas as variáveis analisadas seguiram distribuição normal dos erros pelo teste de Shapiro-Wilk ($w > p$). A análise de variância demonstrou diferenças significativas para o tratamento enxertia, dependendo das variáveis e da safra de cultivo. Os coeficientes de variação (CV%) flutuaram de 3,4% a 13,9% para as variáveis produtivas e de 3,0% a 13,7% para as variáveis de crescimento.

A enxertia não propiciou incrementos de produtividade para a cultivar de tipo italiano (Tabela 1) no primeiro ensaio, pelo contrário, as plantas enxertadas produziram $0,9 \text{ kg planta}^{-1}$ a menos de frutos comerciais. O mesmo comportamento foi observado para massa seca de frutos. Com respeito às variáveis de massa média, sólidos solúveis totais e dimensões dos frutos, não houve diferença significativa entre plantas enxertadas e não enxertadas. Para a cultivar do tipo gaúcho, não houve diferenças significativas entre plantas enxertadas e não enxertadas para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 1), apesar das plantas não enxertadas apresentarem uma tendência não significativa de maior produção.

Tabela 1. Efeitos principais dos fatores cultivar e enxertia sobre a produção, massa média e seca dos frutos, sólidos solúveis totais (SST) e tamanho dos frutos de plantas de tomateiro em duas safras de cultivo em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.

Safr	Cultivar	Enxertia	Produção (kg planta ⁻¹)	Massa Média Frutos (g fruto ⁻¹)	Massa Seca Frutos (g planta ⁻¹)	SST (°Brix)	Tamanho dos Frutos (mm)	
							Altura	Largura
Verão/Inverno 2019	Italiano	Enxertada	4,2 b*	120,0 ^{ns}	193,8 b	6,2 ^{ns}	71 ^{ns}	49 ^{ns}
		Não enxertada	5,1 a	113,0	253,8 a	5,5	72	46
	Gaúcho	Enxertada	4,7 ^{ns}	195,8 ^{ns}	226,2 ^{ns}	6,0 ^{ns}	50 ^{ns}	64 ^{ns}
		Não enxertada	5,4	200,0	274,1	6,0	48	66
		CV%	17,4	11,4	16,5	6,1	3,4	2,4
Primavera/Verão 2019/2020	Italiano	Enxertada	6,1 ^{ns}	152,3 ^{ns}	328,3 ^{ns}	6,0 ^{ns}	98 ^{ns}	65 ^{ns}
		Não enxertada	5,7	146,7	308,4	5,2	96	62
	Gaúcho	Enxertada	6,7 ^{ns}	222,1 ^{ns}	264,1 ^{ns}	5,9 ^{ns}	68 ^{ns}	88 ^{ns}
		Não enxertada	6,2	216,5	245,7	5,8	64	86
		CV%	13,8	11,9	13,9	5,2	4,9	3,4

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F
ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

No segundo ciclo de cultivo não houve diferença significativa entre plantas enxertadas e não enxertadas, para ambas as cultivares, para nenhuma das variáveis (Tabela 1). No entanto houve uma pequena inversão de tendência de comportamento, sendo que as plantas enxertadas

apresentaram maior magnitude não significativa para todas as variáveis produtivas (produção, massa média, massa seca e tamanho dos frutos, e SST). O ciclo de cultivo de primavera/verão se mostrou mais produtivo que o ciclo de verão/inverno, tanto em termos de produção por planta quanto em relação ao tamanho dos frutos.

Por outro lado, as plantas enxertadas apresentaram maior crescimento vegetativo (Tabela 2), expresso em maior número de folhas, massa seca vegetativa, massa seca de raiz e massa seca total para ambas as cultivares no primeiro ensaio de verão/inverno. No segundo experimento, não houve diferenças significativas entre plantas enxertadas e não enxertadas para a maioria das variáveis, somente a massa seca de raiz foi aproximadamente 7 g planta⁻¹ superior nas plantas enxertadas para ambas as cultivares.

Tabela 2. Efeitos principais dos fatores cultivar e enxertia sobre o número de folhas, índice de área foliar (IAF), altura de planta, massa seca vegetativa, de raízes e total da planta de tomateiro em duas safras de cultivo, em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.

Safra	Cultivar	Enxertia	Número Folhas planta ⁻¹	IAF	Altura Plantas (m)	Massa Seca Vegetativa** (g planta ⁻¹)	Massa Seca Raiz (g planta ⁻¹)	Massa Seca Total*** (g planta ⁻¹)
Verão/Inverno 2019	Italiano	Enxertada	50 a*	4,3 a	3,8 ^{ns}	239,7 a	68,5 a	502,0 a
		Não enxertada	46 b	3,5 b	3,8	176,6 b	59,0 b	489,4 b
	Gaúcho	Enxertada	51 a	4,9 ^{ns}	3,4 ^{ns}	216,1 a	69,1 a	511,4 a
		Não enxertada	47 b	4,9	3,3	167,9 b	59,4 b	501,4 b
		CV%	1,2	4,9	3,0	5,5	3,0	2,9
Primavera/Verão 2019/2020	Italiano	Enxertada	37 ^{ns}	3,4 ^{ns}	2,4 ^{ns}	190,5 ^{ns}	48,9 a	567,7 ^{ns}
		Não enxertada	36	3,3	2,3	174,6	42,1 b	525,1
	Gaúcho	Enxertada	37 ^{ns}	4,4 ^{ns}	2,3 ^{ns}	180,2 ^{ns}	49,4 a	493,7 ^{ns}
		Não enxertada	37	4,2	2,2	165,7	42,4 b	453,8
		CV%	3,0	13,7	4,1	11,8	3,5	11,2

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Massa seca vegetativa= folhas + caules. * Massa seca total= folhas + caules + raízes + frutos.

Com relação às respostas das plantas as variáveis meteorológicas, conforme a Figura 1, as plantas enxertadas apresentaram um ciclo mais longo, que expresso em termos de tempo térmico resultou em maiores valores de soma térmica para atingir cada estágio de desenvolvimento, em comparação às plantas não enxertadas, em ambos os cultivos. No experimento de verão/inverno, a temperatura média durante as fases de transplante e colheita foi de 22,4 °C, com mínima de 11,5 °C e máxima de 37,4 °C. As plantas não enxertadas necessitaram de 71 dias e 836 graus dias desde o transplante até a colheita dos frutos e as plantas enxertadas 75 dias e 882 graus dias. No experimento de primavera/verão, a temperatura média foi de 23,3 °C com mínima e máxima de 4,8 °C e 40,5 °C, respectivamente, as plantas não enxertadas necessitaram de 68 dias e 718 graus dias para cumprir o ciclo de cultivo e as plantas enxertadas 71 dias e 759 graus dias.

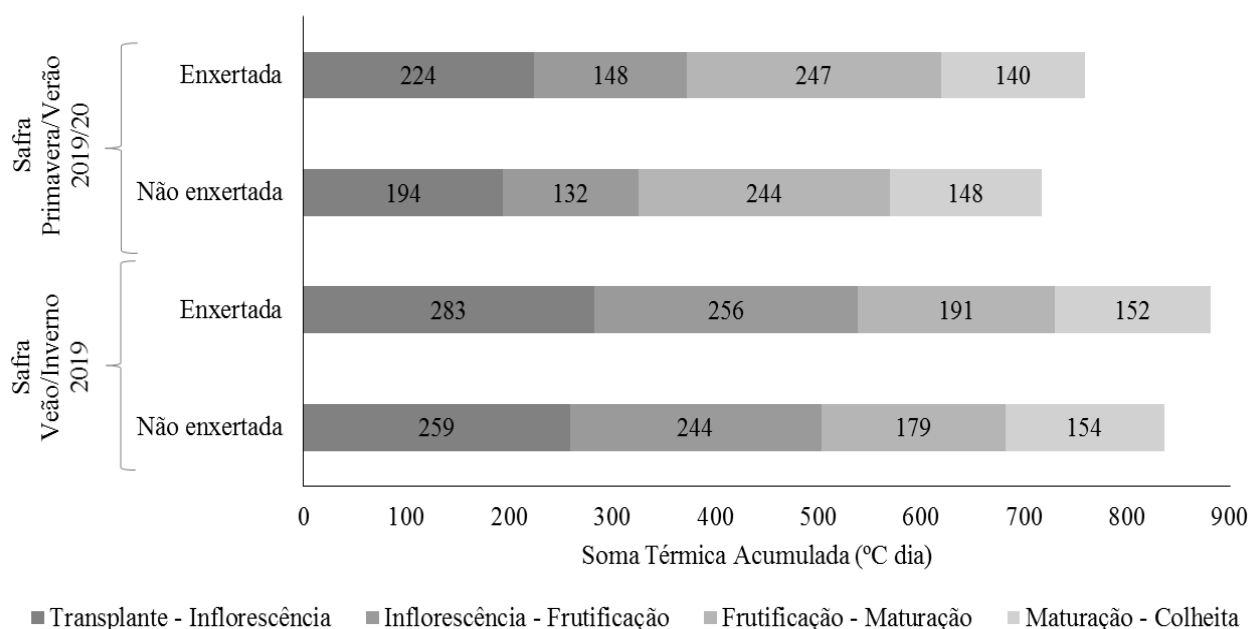


Figura 1. Soma térmica de plantas de tomateiro enxertadas e não enxertadas, quantificada por fases de desenvolvimento em duas safras de cultivo em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.

Em relação ao cultivo de verão/inverno, conforme apresentado na Figura 2, ao longo do ciclo, as medidas no interior da estufa indicaram valores médios diários de radiação solar global incidente sobre o dossel da cultura inferiores a $8,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a partir do 70º dia após o transplante (DAT), com ocorrência de temperatura mínima de $0,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e temperaturas médias mínimas de $10,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, havendo eventos de temperaturas abaixo de $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em 30 dias durante os meses de julho e agosto.

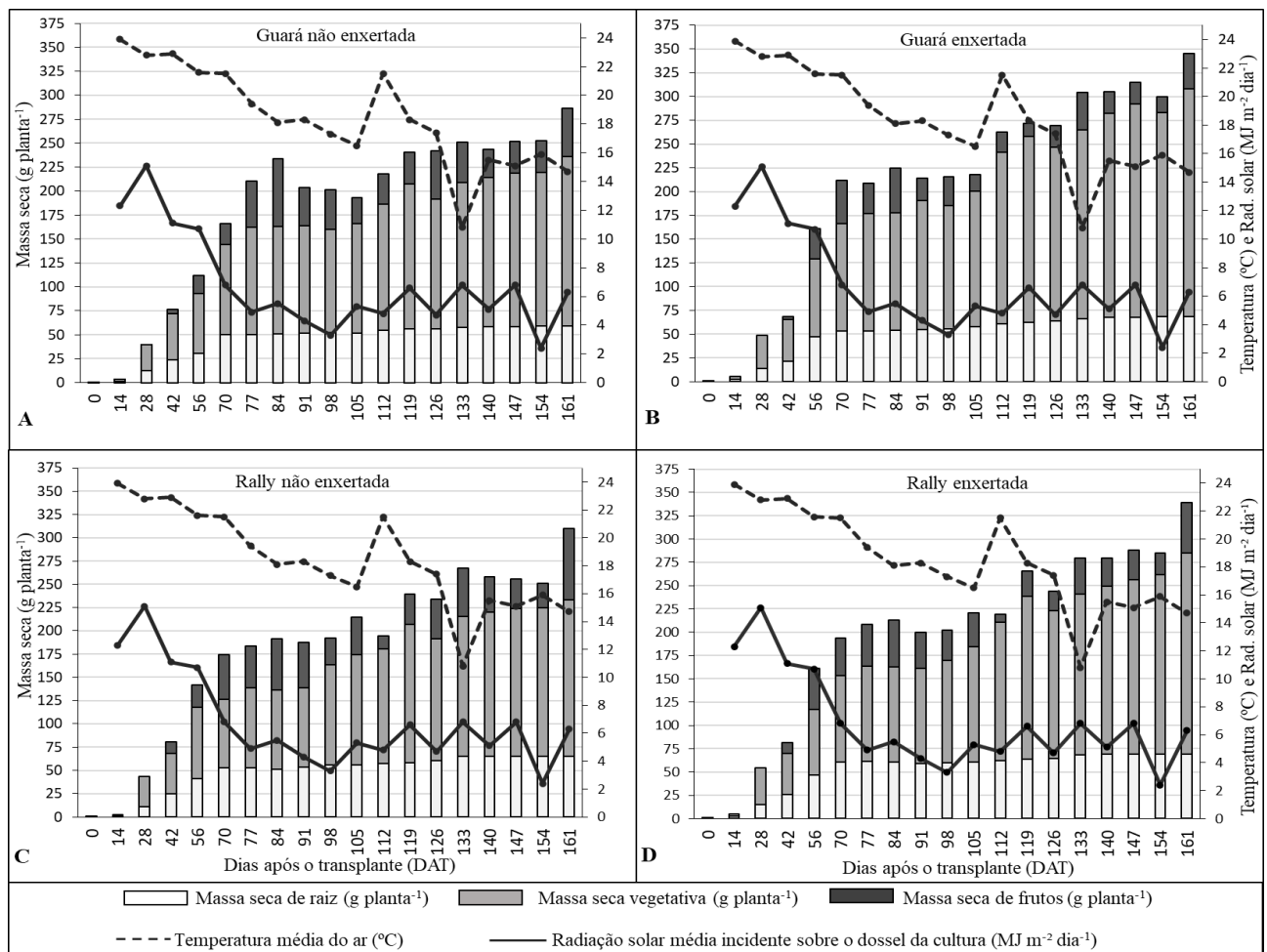


Figura 2. Valores médios diários de temperatura e de radiação solar global incidente no interior da estufa de cultivo e produção de massa seca dos diferentes órgãos das plantas de duas cultivares de tomateiro (Rally e Guará), enxertadas (B e D) e não enxertadas (A e C), em ciclo de cultivo de verão/inverno no ano de 2019, em sistema de produção em vasos com substrato de casca de arroz carbonizada, na cidade de Jaguari/RS.

Nesta safra, conforme Figura 2, as plantas apresentaram crescimento expresse em acúmulo de massa seca de forma crescente ao longo do ciclo, porém com alguns períodos de estabilidade. As plantas enxertadas apresentaram maiores valores médios de massa seca acumulada de raiz (Guará 49,5 g planta⁻¹ e Rally 52,0 g planta⁻¹) e dos órgãos vegetativos (Guará 135,9 g planta⁻¹ e Rally 116,9 g planta⁻¹) em relação às plantas não enxertadas [raiz (Guará 44,0 g planta⁻¹ e Rally 47,4 g planta⁻¹) e órgãos vegetativos (Guará 105,8 g planta⁻¹ e Rally 100,4 g planta⁻¹)]. Por outro lado, as plantas não enxertadas apresentaram maiores valores médios acumulados de massa seca de frutos (Guará 30,4 g planta⁻¹ e Rally 32,4 g planta⁻¹) em comparação às plantas enxertadas (Guará 22,5 g planta⁻¹ e Rally 28,0 g planta⁻¹).

Na Tabela 3, são apresentados os dados de radiação solar média incidente no interior do ambiente de cultivo e das temperaturas mínima, média e máxima associados às respostas da cultura em relação à produção de massa seca total, incremento de massa seca (IMS), taxa de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR), ao longo do ciclo de cultivo do primeiro ensaio (safra verão/inverno 2019). As plantas enxertadas e não enxertadas apresentaram diferença estatística entre si para a variável massa seca total, sendo apresentadas isoladamente. Por outro lado, não foi verificada diferença significativa entre os tipos de plantas para as variáveis de IMS, TCA e TCR, portanto os valores foram apresentados em forma de média geral.

As plantas apresentaram os menores valores de IMS, TCA e TCR aos 91, 98, 126, 140, 147 e 154 DAT, com valores inferiores a 6,2 g planta⁻¹ período⁻¹, inferiores a 0,9 g planta⁻¹ período⁻¹ e iguais a 0,00 g g⁻¹ período⁻¹ para cada uma das variáveis, respectivamente (Tabela 3). As plantas apresentaram valores mínimos significativos de TCR nos períodos 77, 84, 105, 112 e 133 DAT, com valores mínimos médios de radiação solar incidente diária igual e superiores a 4,8 MJ m⁻² dia⁻¹, podendo este valor ser considerado o limite trófico para a cultura do tomateiro dos tipos salada e italiano.

Tabela 3. Média para os diferentes períodos de avaliação de radiação solar global incidente diária sobre a cultura (Gi), temperaturas do ar mínima (Mín), máxima (Máx) e média (Méd), massa seca (MS) total, incremento de massa seca (IMS), taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) de duas cultivares de tomateiro (Rally® e Guará®) enxertadas (E) e não enxertadas (NE), ao longo do ciclo de cultivo de verão/inverno no ano de 2019, na cidade de Jaguari/RS.

Coletas	Gi (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	Temperatura °C			MS TOTAL		IMS	TCA	TCR
		Mín	Máx	Méd	E	NE			
0	0	0,0	0,0	0,0	0,27 I †	0,14 H	0,0 E	0,0 D	0,00 E
14	12,3	18.2	31.5	23.9	5,50 I	3,08 H	4,1 E	0,3 D	0,22 A
28	15,1	17.5	29.7	22.8	51,8 H	41,6 G	42,4 B	3,0 B	0,17 B
42	11,1	18.1	29.7	22.9	74,9 G	78,8 F	30,2 C	2,2 C	0,04 B
56	10,7	16.3	28.8	21.6	161,1 F	127,2 E	67,3 A	4,8 A	0,04 B
70	6,8	16.7	26.8	21.5	202,5 E	170,1 D	42,2 B	3,0 B	0,02 C
77	4,9	15.8	25.4	19.4	208,6 E	197,2 C	17,8 D	2,5 B	0,01 D
84	5,5	13.8	24.2	18.1	218,7 E	212,4 C	12,5 D	1,8 C	0,01 D
91	4,3	14.6	23.7	18.3	206,7 E	195,6 C	0,6 E	0,1 D	0,00 E
98	3,3	14.5	21.8	17.3	208,9 E	196,6 C	3,1 E	0,5 D	0,00 E
105	5,3	11.7	23.9	16.5	219,4 E	203,7 C	11,3 D	1,6 C	0,01 D
112	4,8	17.3	28.3	21.5	240,9 D	206,3 C	17,3 D	2,5 B	0,01 D
119	6,6	12.4	26.5	18.3	268,8 C	239,9 B	30,7 C	4,4 A	0,02 C
126	4,7	11.5	25.3	17.4	256,9 C	237,8 B	1,3 E	0,2 D	0,00 E
133	6,8	3.1	24.6	10.8	290,9 B	259,2 B	27,8 C	4,0 B	0,01 D
140	5,1	9.5	24.4	15.5	292,3 B	250,9 B	1,1 E	0,2 D	0,00 E
147	6,8	8.9	26.1	15.1	300,5 B	253,6 B	6,2 E	0,9 D	0,00 E
154	2,4	13.7	19.8	15.9	292,1 B	252,0 B	1,6 E	0,2 D	0,00 E
161	6,3	8.3	25.4	14.7	342,5 A	298,2 A	48,3 B	6,9 A	0,02 C
CV(%)					6,6		57,2	71,0	30,0

† Médias seguidas de mesma letra na coluna não deferem estatisticamente entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott.

Discussão

Independentemente do ciclo de cultivo e das cultivares (Tabela 1), a enxertia não apresentou efeito positivo de maior produção de frutos. Resultados semelhantes foram relatados por Meyer (2016) em cultivo no solo. Da mesma forma, não afetou o teor de sólidos solúveis dos frutos, alinhando-se ao trabalho de Buller et al. (2013). A não expressão de resultados

superiores pelas plantas enxertadas se deve ao fato de o cultivo sem solo se tratar de um sistema de produção livre de patógenos e doenças de solo e por este motivo as plantas enxertadas e não enxertadas estiveram sob as mesmas condições favoráveis de desenvolvimento. Com água e nutrientes facilmente disponíveis, ambos os tipos de planta igualaram seus potenciais produtivos e, dessa forma, a enxertia não expressou sua superioridade frente às plantas não enxertadas (Lang e Nair 2019).

Por outro lado, ficou evidenciado na Tabela 2 que as plantas enxertadas caracteristicamente apresentaram sistema radicular mais vigoroso que as plantas não enxertadas, assim como apresentaram maior crescimento dos órgãos vegetativos aéreos, corroborando com os resultados encontrados por Mohammad et al. (2009) e por Soare et al. (2018), que também observaram maior crescimento das plantas enxertadas frente às plantas não enxertadas. Esta característica de maior vigor é expressa devido à própria seleção e melhoramento genético de plantas e, portanto, é intrínseca ao porta enxerto, visando lhe conferir sistema radicular mais robusto para maior expansão no solo e maior capacidade de absorção de água e nutrientes diante de situações de estresses bióticos (causados por pragas e doenças) ou abióticos (estresses hídricos e salinidade do solo). Por estes motivos, as plantas enxertadas são mais vigorosas que as plantas não enxertadas, conforme observado por Urlic et al. (2020) em cultivos no solo.

Neste mesmo sentido, o sistema de cultivo em vasos empregado nestes ensaios, pode ter limitado a expressão de um maior crescimento do sistema radicular das plantas enxertadas, vindo a afetar negativamente seu desenvolvimento vegetativo e produtivo ante às plantas não enxertadas. Outro fator a ser levado em consideração, especificamente para o cultivo de verão/inverno, seria o fato de que o porta enxerto não apresente características para superação de condições ambientais adversas, como baixas temperaturas (mínimas inferiores a 10° C) e radiação solar média inferior a 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹, por exemplo. E por este motivo, as plantas

enxertadas foram menos produtivas no primeiro ciclo de cultivo, enquanto no segundo ciclo, de primavera/verão, em condições climáticas mais adequadas à cultura, as plantas enxertadas demonstraram, ainda que de forma não significativa, maior magnitude produtiva frente às plantas não enxertadas.

Apesar de ser uma hortaliça de ampla adaptação climática, a cultura do tomateiro é fortemente influenciada pelas condições de temperatura do ar, necessitando temperaturas entre 11 e 24 °C para seu adequado desenvolvimento, além de uma certa amplitude térmica, com redução considerável das temperaturas durante a noite (Schmidt et al., 2017). Neste sentido, o cálculo da soma térmica torna padrão as leituras de temperatura do ar transformando-as em graus dias e disponibilizando uma medida fisiológica que estima a energia disponível para a planta em cada dia (Palaretti et al., 2012). E, conforme a Figura 1, o início da colheita em ambas as safras ocorreu em aproximadamente 70 dias após o transplante. No entanto, observamos que o comportamento das plantas ao longo das fases foi diferente por se tratar de safras de cultivo em épocas do ano distintas, e em que as temperaturas apresentaram variações diversas. Adicionalmente, as plantas enxertadas tiveram atraso em seu desenvolvimento inicial de alguns dias, devido à prática da enxertia, que altera a morfologia final da planta. Argericha e Smith (2019) observaram o mesmo comportamento em seus ensaios.

Em relação ao crescimento das plantas (Figura 2), este ocorreu de forma expressiva até os 70 DAT, por se tratar de um período de maior radiação solar incidente (superior a $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e temperaturas médias superiores a 20 °C, além de este período coincidir com a fase de maior desenvolvimento vegetativo do que produtivo. A partir do 70º DAT, a radiação solar e as temperaturas diminuíram, assim como as plantas também reduziram a velocidade de seu crescimento e iniciou o período de maturação e colheita dos frutos. A radiação solar tem influência na produção de foto assimilados, cuja demanda é maior quanto maior o tamanho da planta e dos frutos (Reis et al., 2013). A temperatura, além de afetar a velocidade das reações

de fotossíntese, afeta também a transpiração das plantas (Delgado-Tobón et al., 2020). Ambas as variáveis são peças-chaves no processo de crescimento das plantas, uma vez que quanto maiores as plantas, maiores são suas necessidades de carboidratos e energia para manter suas funções metabólicas e continuarem acumulando massa seca, além de influenciarem a velocidade de desenvolvimento e o tamanho dos frutos.

As plantas enxertadas, devido às características conferidas pelo porta enxerto de sistema radicular mais desenvolvido e maior vigor da parte aérea, apresentam maior demanda de carboidratos para manutenção de seu metabolismo e expressar o seu potencial de crescimento. Por este motivo, o maior vigor das plantas não se expressou em maiores resultados produtivos em condições restritas de radiação solar (abaixo de $8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) e temperaturas médias amenas (entre 11 e 20 °C), durante o período de outono/inverno (após 70 DAT), conforme Figura 2. Neste sentido, o porta enxerto utilizado nestes ensaios não se apresentou como uma alternativa viável de manejo nas condições de outono/inverno do Rio Grande do Sul.

No entanto, estes resultados insatisfatórios em termos de produção não significam que a técnica de enxertia na cultura do tomateiro não seja eficiente, visto que muitos trabalhos trazem resultados positivos com esta técnica como observado por Turhan et al. (2011), Ntatsi et al (2014), Al-Harbi et al. (2016), Soare et al. (2018) e tantos outros autores. Porém, é fato que, especialmente no Brasil, existe a necessidade de evoluir em termos de melhoramento de cultivares de porta enxerto, e mais especificamente, cultivares para uso em sistemas de cultivo sem solo e para superação de estresses abióticos, como baixa incidência de radiação solar, extremos de temperatura e salinidade do meio de cultivo, por exemplo.

Em relação ao crescimento das plantas no período de outono/inverno (Tabela 3), verificou-se que as plantas conseguem manter seu metabolismo e expressar algum tipo de crescimento em forma de acúmulo de massa seca neste período de condições restritas de radiação solar e reduzidas temperaturas mínimas. A literatura cita como valor mínimo de

radiação solar necessária para incremento de massa seca pelas hortaliças de clima tropical e subtropical $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, também conhecido como limite trófico destas culturas. No entanto, foi verificado (Tabela 3) e já observado por Perin et al. (2018) para cultura do minitomateiro, que este valor pode ser significativamente inferior. Neste ensaio, com uso de plantas enxertadas e não enxertadas de duas cultivares de tomateiro de mesa, conduzidas em haste única e densidade de plantio de $2,93 \text{ plantas m}^{-2}$, o valor mínimo significativo de TCR coincidiu com $4,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ de radiação solar incidente no interior do ambiente de cultivo (IAF médio registrado neste período foi de 35404). O valor do limite trófico pode variar em função da forma de condução das plantas e do espaçamento utilizado podendo ser maior para cultivos mais adensados e com maior IAF.

Dessa forma pode-se afirmar, assim como já observado por Albuquerque Neto e Peil (2012) e Rosa (2015), que a cultura do tomateiro apresenta condições de crescimento durante o período de outono/inverno do Rio Grande do Sul em condições de radiação solar global incidente com valores inferiores a $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. No entanto, é necessário observar que outras condições mínimas precisam ser atendidas, como a manutenção de temperaturas em condições que permitam o adequado desenvolvimento das plantas, não inferiores a $0,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para sua sobrevivência e superiores a $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para o adequado pegamento e desenvolvimento dos frutos e crescimento significativo das plantas (Shamshiri et al., 2018). Outro fator a ser levado em conta diz respeito à densidade de plantio adotada, uma vez que em períodos de baixa incidência de radiação solar, aumentar o espaçamento entre plantas permite maior insolação do dossel da cultura, melhorando sua capacidade fotossintética e seu crescimento.

O maior ou menor crescimento das plantas e sua maior ou menor capacidade produtiva irá depender do nível tecnológico do produtor e das suas condições de cultivo. Produtores de baixo poder de investimento, provavelmente, terão os mesmos resultados apresentados neste trabalho, por apenas manter as condições de sobrevivência das plantas. Sem o uso de

aquecimento para manutenção de temperaturas superiores a 10 °C, a produção das plantas neste período crítico é baixa, devido ao alto índice de abortamento de flores e à má formação dos frutos. Por outro lado, produtores que possuem condições de realizar o aquecimento do ambiente de cultivo provavelmente consigam resultados superiores, pois as condições permitirão o adequado pegamento e crescimento dos frutos, garantindo produtividades dentro do esperado pela cultura.

Conclusões

As plantas enxertadas apresentam maior crescimento vegetativo que as plantas não enxertadas, independente da safra de cultivo.

As plantas não enxertadas são mais produtivas em ciclo de cultivo com restrição de luminosidade e baixas temperaturas.

Em condições mais adequadas de temperatura e luminosidade, as plantas enxertadas podem se igualar e tem potencial para apresentar maior magnitude produtiva do que as plantas não enxertadas.

O limite trófico para plantas enxertadas e de pé franco das cultivares de tomateiro do tipo salada e italiano é de 4,8 MJ m⁻² dia⁻¹.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Pelotas, à CAPES e ao CNPq.

Referências Bibliográficas

Albuquerque Neto, A.A.R., e Peil, R.M.N. 2012. Performance of tomato genotypes in hydroponic system and fall/winter crop-season. *Hortic. Bras.* 30(4), 613-619. Doi:10.1590/S0102-05362012000400009.

- Al-Harbi, A., Hejazi, A. e Al-Omran, A. 2017. Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. *Saudi J. Biol. Sci.* 24, 1274-1280. Doi: 10.1016/j.sjbs.2016.01.005.
- Altunlu, H., e Gul, A., 2012. Increasing drought tolerance of tomato plants by grafting. *Acta Hortic.* 960, 183-190. Doi:10.17660/ActaHortic.2012.960.26.
- Argericha, C.A. e Smith, P.A. 2019. The effect of rootstock on yield and quality in processing tomatoes. *Acta Hortic.* 1233, 13-18. Doi:10.17660/ActaHortic.2019.1233.3.
- Beckmann, M.Z., Duarte, G.R.B., de Paula, V.A., Mendez, M.E.G., Peil, R.M.N. 2006. Solar radiation measured in protected ambient with tomato culture in summer-autumn seasons in Rio Grande do Sul State. *Cienc. Rural.* 36(1), 86-92. Doi:10.1590/S0103-84782006000100013.
- Benincasa, M.M.P., 2003. *Análise de crescimento de plantas: noções básicas*, 2th ed. FUNEP, Jaboticabal, BR.
- Bhatt, R.M., Upreti, K.K., Divya, M.H., Bhat, S., Pavithra, C.B., e Sadashiva, A.T. 2015. Interspecific grafting to enhance physiological resilience to flooding stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Sci. Hortic.* 182, 8-17. Doi:10.1016/j.scienta.2014.10.043.
- Buller, S., Inglis, D., e Miles, C. 2013. Plant growth, fruit yield and quality, and tolerance to Verticillium wilt of grafted watermelon and tomato in field production in the Pacific Northwest. *Hort. Sci.* 48(8), 1003-1009. Doi:10.21273/HORTSCI.48.8.1003.
- Cruz, C.D. 2013. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. *Acta Sci. Agron.* 35(3), 271-276. Doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251.
- De Lucena, R.R.M., Batista, T.M.V., Dombroski, J.L.D., Lopes, W.A.R., and de Oliveira, G.S.R. 2011. Measurement of acerola leaf area. *Caatinga.* 24(2), 40-45.

- Delgado-Tobón, A.E., Aperador-Chaparro, W.A., e García-Cáceres, R.G. 2020. Effect of modified greenhouse covers on the development of plants of *lycopersicon esculentum* mill. Dyna. 87(213), 91-97. Doi:10.15446/dyna.v87n213.81082.
- Djidonou, D., Simonne, A.H., Koch, K.E. Brecht, J.K., e Zhao, X. 2016. Nutritional quality of field-grown tomato fruit as affected by grafting with interspecific hybrid rootstocks. Hort. Sci. 51(12), 1618-1624. Doi:10.21273/HORTSCI11275-16.
- Duarte, G.R.B., Schöffel, E.R., Mendez, M.E.G., De Paula, V.A., 2010. Measure and estimation of the evapotranspiration of tomato plants cultivated with organic fertilization in protected ambient. Semina: Ciênc. Agrár. 31 (3), 563–574. Doi: 10.5433/1679-0359.2010v31n3p563.
- FAO, 2013. Good Agricultural Practices for Greenhouse Vegetable Crops: Principles for Mediterranean Climate Areas. ITA, FAO, Rome.
- İşeri, Ö.D., Körpe, D.A., Sahin, F.I., e Haberal, M. 2015. High salt induced oxidative damage and antioxidant response in tomato grafted on tobacco. Chil. J. Agric. Res. 75(2), 192-201. Doi:10.4067/S0718-58392015000200008.
- Jimenez, S., Dridi, J., Gutierrez, D., Moret, D., Irigoyen, J.J., Moreno, M., e Gogercena, Y., 2013. Physiological, biochemical and molecular responses of four prunus rootstocks submitted to drought stress. Tree Physiol. 33, 1061-1075. Doi:10.1093/treephys/tpt074.
- Lang, K.M., e Nair, A. 2019. Effect of tomato rootstock on hybrid and heirloom tomato performance in a midwest high tunnel production system. Hort. Sci. 54(5), 840-845. Doi:10.21273/HORTSCI13874-19.
- Loos, R.A., Caliman, F.R.B., e Silva, D.J.H. 2009. Grafting, production and quality of tomato growth in protected environment. Ciênc. Rural. 39(1), 232-235. Doi:10.1590/S0103-84782009000100037.
- López-Marín, J., González, A., Pérez-Alfocea, F., Egea-Gilabert, C., e Fernández, J.A. 2013. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in

- greenhouse-grown sweet pepper. *Scient. Hortic.* 149, 39-46.
Doi:10.1016/j.scienta.2012.02.034.
- Meyer, L. 2016. Grafting to increase high tunnel tomato productivity in the central United States. Ph.D. diss. Kansas State Univ., Manhattan.
- Mohammed, S.M.T., Humidan, M., Boras, M., e Abdalla, O.A. 2009. Effect of grafting tomato on different rootstocks on growth and productivity under glasshouse conditions. *Asian J. Agric. Res.* 3(2), 47-54. Doi:10.3923/ajar.2009.47.54.
- Muneer, S., Ko. C.H., Wei, H., Chen, Y., e Jeong, B.R. 2016. Physiological and proteomic investigations to study the response of tomato graft unions under temperature stress. *PLoS ONE*. 11(6), e0157439. Doi:10.1371/journal.pone.0157439.
- Ntatsi, G., Savvas,D., Ntatsi,G., Kläring, H.P., e Schwarz, D. 2014. Growth, yield, and metabolic responses of temperature-stressed tomato to grafting onto rootstocks differing in cold tolerance. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 139(2), 230-243.
Doi:10.21273/JASHS.139.2.230.
- Palaretti, L.F., Mantovani, E.C., da Silva, D.J.H., e Cecon, P.R., 2012. Soma térmica para o desenvolvimento dos estádios do tomateiro. *Rev. Bras. Agric. Irrig.* 6(3), 240-246.
Doi:10.7127/rbai.v6n300089.
- Pedó, T., Aumonde, T.Z., Lopes, N.F., e Mauch, C.R. 2013. Partitioning of assimilates and temporal distribution of productivity in grafted tomato plants. *R. bras. Bioci.* 11(3), 307-312.
- Perin, L., Peil, R.M.N., Trentin, R., Streck, E.A., Da Rosa, D.SB., Hohn, D., e Schaun, W.S. 2018. Solar radiation threshold and growth of mini tomato plants in mild autumn/winter condition. *Sci. Hortic.* 239, 156-162. Doi:10.1016/j.scientia.2018.05.037.
- Reis, L. S., de Azevedo, C.A.V., Albuquerque, A.W., e Junior J.F.S. 2013. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Agriambi.* 17(4), 386-391.
Doi:10.1590/S1415-43662013000400005.

- Rosa, D.S.B., 2015. Número de hastes para o cultivo do tomateiro Grape em substrato de casca de arroz e sistema fechado. Fed. Univ. of Pelotas, Pelotas.
- Schmidt, D., Zamban, D.T., Prochnow, D., Caron, B.O., Souza, V.Q., Paula, G.M., e Cocco, C. 2017. Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. *Hortic. Bras.* 35(1), 89-96. Doi:10.1590/S0102-053620170114.
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., e Venema, J.H., 2010. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. *Sci. Hortic.* 127, 162–171. Doi:10.1016/j.scienta.2010.09.016.
- Shamshiri, R.R., Jones, J.W., Thorp, K.R., Ahmad, D., Man, H.C., e Taheri, S. 2018. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. *Int. Agrophys.* 32, 287-302. Doi:10.1515/intag-2017-0005.
- Soare, R., Dinu, M., e Babeanu, C. 2018. The effect of using grafted seedlings on the yield and quality of tomatoes grown in greenhouses. *Hort. Sci.* 45(2), 76-82. Doi:10.17221/214/2016-HORTSCI.
- Turhan, A., Ozmen, N., Serbeci, M.S., e Seniz, V. 2011. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. *Hort. Sci.* 38(4), 142-149. Doi:10.17221/51/2011-HORTSCI.
- Urlić, B., Runjić, M., Žanić, K., Mandušić, M., Selak, G.V., Pasković, I., e Dumičić, G. 2020. Effect of partial root-zone drying on grafted tomato in commercial greenhouse. *Hort. Sci.* 47(1), 36-44. Doi:10.17221/130/2018-HORTSCI.

6 Nota: Extração de nutrientes, aspectos fisiológicos e produtivos de plantas enxertadas de tomateiro conduzidas com uma e duas hastes
(Segundo Normas da Revista Ciência Rural)

Extração de nutrientes, aspectos fisiológicos e produtivos de plantas enxertadas de tomateiro conduzidas com uma e duas hastes

Resumo

A enxertia em hortaliças é uma ferramenta de manejo para superação de adversidades nos cultivos, porém o seu uso em cultivo sem solo ainda não está totalmente elucidado, assim como a forma de condução destas plantas para maior eficiência técnica. Dessa forma, visando sanar parte das incertezas existentes, o trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento fisiológico, o crescimento, a produção e a extração de nutrientes de plantas de tomateiro enxertadas e não enxertadas conduzidas em haste única e duas hastes em sistema de cultivo de aeroponia. O experimento foi conduzido no período de 11 de novembro de 2017 a 02 de março de 2018, no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel/UFPEL. Dois fatores foram estudados: tipo de planta (enxertada e não enxertada) e número de hastes por planta (plantas com haste única e plantas com duas hastes). Foram analisadas variáveis relativas ao comportamento fisiológico, produção, crescimento e extração de nutrientes das plantas. A enxertia não afeta as variáveis fisiológicas nem a absorção de nutrientes pelas plantas, porém, plantas enxertadas apresentam maior crescimento radicular e vegetativo que plantas não enxertadas. A forma de condução das plantas afeta a variável fisiológica de condutância estomática, sendo o maior valor observado nas plantas conduzidas com haste única. Estas plantas também apresentam maior crescimento da parte aérea e produção de frutos, além de absorverem mais nutrientes do que as plantas conduzidas com duas hastes que apenas se destacam por apresentar maior crescimento do sistema radicular.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L.; absorção de nutrientes; condução de plantas; cultivo sem solo.

O uso da enxertia na cultura do tomateiro em cultivos no solo é corriqueiro e se deve à busca de melhores resultados produtivos e com vistas a solucionar problemas de estresses bióticos, como o controle de patógenos de solo. Paradoxalmente, muitos produtores têm relatado a utilização de plantas enxertadas de tomateiro em sistemas de cultivo sem solo, alegando maior vigor, produtividade e longevidade das plantas. Portanto, partindo-se desta premissa, possivelmente as plantas enxertadas possam ser conduzidas com um maior número de hastes do que plantas não enxertadas, possibilitando a obtenção de resultados produtivos vantajosos, associados à redução da quantidade de mudas necessárias por unidade de área em relação ao cultivo de plantas de haste única (PEIL & GÁLVEZ, 2004).

Em razão destas características de maior vigor, supõe-se que plantas enxertadas apresentem comportamento fisiológico diferenciado das plantas não enxertadas, uma vez que a produtividade vegetal pode ser influenciada por características morfológicas e fisiológicas dos órgãos fotossintetizantes (TAIZ & ZEIGER, 2013). Dessa forma, entender o comportamento fisiológico das plantas em função da enxertia e da forma de condução torna-se indispensável para melhoria da eficiência técnica nos sistemas de produção da cultura do tomateiro.

Outro ponto a ser destacado diz respeito à análise da extração de nutrientes pelas plantas, que vem a ser de extrema importância para quantificação da necessidade de nutrientes necessária à cultura. Neste mesmo sentido, os trabalhos referentes à extração de nutrientes comparando plantas enxertadas e não enxertadas com diferentes formas de condução são praticamente inexistentes, e, conforme observado por BASTOS et al. (2013), fatores como sistema de condução de plantas e espaçamento podem alterar a quantidade de nutrientes absorvidos. E em se tratando de cultivo sem solo, poucos são os trabalhos publicados. PRADO et al. (2011) destacam que a maioria dos trabalhos nesta área são desenvolvidos em cultivos no solo.

Dessa forma, visando elucidar parte das incertezas existentes, o trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento fisiológico, o crescimento, a produção e a extração de nutrientes de plantas de tomateiro enxertadas e não enxertadas conduzidas com haste única e com duas hastes em sistema de cultivo aeropônico.

O experimento foi realizado no período de 11 de novembro de 2017 a 02 de março de 2018 (112 dias), em delineamento experimental inteiramente casualizado, no Campo Didático e Experimental do Departamento de Fitotecnia da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, no Campus da Universidade Federal de Pelotas, localizado no município de Capão do Leão/RS (31°52'S – 52°21'W).

O ambiente de cultivo foi uma estufa disposta no sentido norte-sul, com área experimental de 210m², coberta com filme plástico de polietileno de baixa densidade de 150µm de espessura. O manejo das condições ambientais da estrutura foi realizado por ventilação natural, através da abertura das janelas laterais e portas de acordo com a variação das condições ambientais.

O sistema de cultivo aeropônico empregado foi constituído por 12 caixas d'água de 100 litros. A fertirrigação ocorreu por sistema de aspersão radicular, através de aspersores instalados no interior das caixas. Foi programada para funcionamento das 08h00min às 19h00min, com duração de 10 minutos a cada uma hora de intervalo. Durante a noite, era acionada uma única vez para manutenção da umidade do sistema radicular.

A solução nutritiva empregada tinha a seguinte composição de macronutrientes (mmol litro⁻¹): 14,0 de NO₃⁻; 1,15 de H₂PO₄⁻; 1,75 de SO₄⁻²; 1,15 de NH₄⁺; 7,0 de K⁺; 3,5 de Ca⁺²; 1,75 de Mg⁺²; e de micronutrientes (mg litro⁻¹): 3,0 de Fe; 0,5 de Mn; 0,05 de Zn; 0,15 de B; 0,02 de Cu e 0,01 de Mo. O monitoramento da solução nutritiva foi diário e realizado através das medidas de condutividade elétrica (CE) e de pH.

As mudas foram adquiridas do viveiro Hortimudas de Nova Bassano/RS. A cultivar de tomateiro Multifort® (Seminis) foi utilizada como porta enxerto, e para enxerto e plantas de pé franco, a cultivar Giuliana® (Sakata), do tipo italiano de hábito de crescimento indeterminado foi a escolhida. A técnica de enxertia utilizada foi do tipo inglês simples, sendo as mudas cortadas em ângulo aproximado de 45° e unidas por cliques plásticos de pressão. A condução das plantas foi feita de duas formas: haste única, com espaçamento entre plantas de 0,3 m (densidade populacional de 3,9 plantas e hastes m⁻²) e duas hastes em espaçamento entre plantas de 0,6 (densidade populacional de 1,95 plantas m⁻² e 3,9 hastes m⁻²). A condução com duas hastes foi obtida a partir da poda do meristema apical da haste primária acima da 4ª folha verdadeira, sendo selecionadas as duas primeiras hastes laterais emitidas. Foram alocadas duas plantas por caixa, respeitando-se a densidade populacional e o espaçamento. O tutoramento das plantas foi feito com fita de ráfia presa em linha de arame disposta cerca de 3,0 m acima da linha de cultivo e sustentada pela estrutura da estufa. Os demais tratamentos culturais e fitossanitários foram efetuados na medida em que se fizeram necessários.

Foram realizadas leituras mensais com aparelho de medidas fisiológicas IRGA modelo LI-6400 (LI-COR) para obtenção de dados de taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO₂. As medidas foram sempre no penúltimo folíolo da terceira folha, contada a partir do ápice (OMENA-GARCIA, 2019). Foram analisadas duas plantas por tratamento por repetição.

Os dados produtivos foram obtidos através das colheitas semanais de frutos maduros que foram contabilizados e pesados para obtenção dos dados de produção e massa média de frutos. Ao final do ciclo de cultivo, foi feita a quantificação da biomassa total acumulada das plantas, a partir da mensuração da massa seca de frutos, folhas, caule e raiz.

Para as análises do conteúdo de elementos nutrientes minerais nas diferentes partes das plantas seguiu-se a metodologia de TEDESCO et al. (1995). Três amostras (composta por duas

plantas) de cada tratamento foram encaminhadas para o Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel para proceder a análise. Com base na produção de massa seca dos diferentes órgãos das plantas, foi calculada a extração de macro e micronutrientes.

Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e teste F, a 5% de probabilidade. Todas as variáveis analisadas seguiram distribuição normal dos erros pelo teste de Shapiro-wilk ($w > p$). Não houve interação significativa entre os fatores enxertia e número de hastes para nenhuma das variáveis analisadas.

Para as variáveis fisiológicas de taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO_2 , a Anova identificou diferença significativa somente para condutância estomática sob efeito do fator número de hastes por planta. As demais variáveis não apresentaram diferenças significativas para nenhum dos fatores avaliados (Tabela 1).

As plantas conduzidas com duas hastes apresentaram menor condutância estomática que as conduzidas em haste única, provavelmente, pela relação entre o tamanho do sistema radicular e a demanda evapotranspirativa da parte aérea. Apesar de apresentarem um sistema radicular maior as plantas conduzidas com duas hastes não apresentavam o mesmo tamanho de raiz por haste que as plantas conduzidas em haste única, isso pode ter causado restrição hídrica nas horas de maior demanda (maior incidência de radiação solar e maior temperatura).

A Anova do fator enxertia evidenciou efeitos significativos sobre as variáveis massa seca de raiz (MSR), folhas (MSF) e caule (MSC); enquanto o fator número de hastes apresentou efeitos significativos para as variáveis MSR, MSF, MSC, massa seca de frutos (MSFr) e total (MST) e produtividade (P), conforme Tabela 2.

As plantas enxertadas apresentaram maior crescimento vegetativo em relação às plantas não enxertadas (Tabela 2), resultado expresso pela massa seca de folhas, caule e raiz. No

entanto, este maior crescimento vegetativo não se refletiu em maior produtividade significativa, o que pode ser associado às condições de aeroponia da pesquisa, que representam suprimento abundante de água e nutrientes minerais, ofuscando a necessidade de um desempenho superior do sistema radicular. Pode-se sugerir que, em condições de cultivo causadoras de maior estresse radicular, como o cultivo no solo ou em substrato, as plantas enxertadas apresentem um desempenho produtivo superior aos das plantas não enxertadas.

As plantas conduzidas com haste única apresentaram maior produtividade, massa seca de frutos, folhas, caule e total em relação às plantas conduzidas com duas hastes (Tabela 2). Por outro lado, as plantas conduzidas com duas hastes apresentaram maior crescimento radicular que as plantas de haste única, o que pode ser atribuído à maior produção de auxina obtida a partir de dois ápices caulinares, resultando em um maior crescimento do sistema radicular (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Conforme dados da Tabela 2, a alocação de massa seca para os diferentes órgãos seguiu ordem decrescente de folhas>frutos>caule>raízes para plantas enxertadas (35,6; 27,1; 18,9 e 18,4%), não enxertadas (34,6; 28,7; 19,1 e 17,6%) e plantas com haste única (37,1; 27,5; 22,1 e 13,3%), estes resultados corroboram os encontrados por HERNÁNDEZ et al. (2009). Já, para plantas com duas hastes, a ordem foi folhas>frutos>raízes>caule (31,9; 27,7; 25,7 e 14,7%), evidenciando que esta forma de condução propicia um maior crescimento radicular.

Em relação à absorção de nutrientes pelos diferentes órgãos da planta, houve diferenças significativas expressas pelos fatores para diferentes nutrientes em diferentes órgãos (Tabela 3). Quanto ao fator enxertia, as plantas enxertadas extraíram mais K, Mg, Mn e Zn na fração folhas; Mn no caule; P, Ca, Mg e Fe nas raízes. E as plantas não enxertadas absorveram mais N, P na fração frutos; P nas folhas; P, Cu e Zn no caule; K e Cu nas raízes. Quanto ao fator número de hastes, as plantas conduzidas com haste única absorveram mais N, K, P, Mn e Zn na fração frutos; N, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn nas folhas; N, K, P, Ca, Mg, Fe, Mn e Zn

no caule, enquanto as plantas com duas hastes extraíram mais N, K, P, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn e Zn nas raízes.

Ao analisar a extração de nutrientes e o crescimento das plantas observa-se que as plantas conduzidas com haste única apresentaram maior crescimento vegetativo expresso em maior massa seca total devido a sua maior capacidade de absorção de nutrientes frente às plantas conduzidas com duas hastes. O maior crescimento do sistema radicular das plantas com duas hastes impôs que uma parte considerável dos nutrientes minerais ficasse depositada nestes órgãos, em detrimento das folhas e frutos (Tabela 3).

A extração de macronutrientes pelas plantas foi em ordem decrescente $K > N > Ca > P > Mg$ (Tabela 4), sendo os resultados compatíveis com os encontrados por PRADO et al. (2011). A extração de micronutrientes foi $Fe > Mn > Zn > Cu$, coincidindo com os resultados de FERNANDES et al. (1975). Resultados divergentes quanto à ordem decrescente da extração dos nutrientes podem ser encontrados na literatura, como os observados por MULLER et al. (2013) cuja ordem para macronutrientes foi $N > K > Ca > Mg > P$ e para micronutrientes $Cu > Fe > Zn > Mn$. Estas diferenças se devem às diferenças entre os genótipos trabalhados e os sistemas de cultivo.

O acúmulo de nutrientes nos diferentes órgãos da planta varia dependendo do metabolismo e da atividade fisiológica (DIÓGENES et al., 2018). Conforme a Tabela 3, os nutrientes mais extraídos pelos frutos foram K, N e P, os quais estão diretamente associados à produção e à qualidade dos frutos, enquanto as partes vegetativas absorveram mais K, Ca e N, nutrientes constituintes de enzimas, aminoácidos e parede celular, além de exercerem outras funções vitais para o crescimento e desenvolvimento das plantas (BASTOS et al., 2013).

Os teores médios de macronutrientes nas folhas foram (em $g\ kg^{-1}$) 23,6 de N, 5,7 de P, 34, 1 de K, 25,3 de Ca e 7,3 de Mg (dados ocultos). Com exceção do nitrogênio, os demais

nutrientes encontravam-se dentro da faixa adequada para cultura do tomateiro, que seria de 40-60 de N, 4-8 de P, 30-50 de K, 14-40 de Ca e 4-8 de Mg conforme BASTOS et al. (2013).

Diante dos resultados expostos, conclui-se que a enxertia não afeta as variáveis fisiológicas nem a absorção de nutrientes pelas plantas, porém, plantas enxertadas apresentam maior crescimento radicular e vegetativo que plantas não enxertadas. A forma de condução das plantas afeta a variável fisiológica de condutância estomática, sendo o maior valor observado nas plantas conduzidas em haste única. Estas plantas também apresentam maior crescimento da parte aérea e produção de frutos, além de absorverem mais nutrientes que as plantas conduzidas com duas hastes, que apenas se destacam por apresentar maior crescimento do sistema radicular.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Pelotas, à CAPES e ao CNPq.

Declaração de conflito de interesses

Não temos conflito de interesses a declarar.

Contribuição dos autores

Os autores contribuíram igualmente para o manuscrito

Referências

- BASTOS, A.R.R. et al. Nutrição mineral e adubação, In: ALVARENGA, M.A.R. **Tomate produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2ed. Lavras: Editora Universitária, 2013. Cap.5, p. 63-130.
- DIÓGENES, T.B.A. et al. Accumulation of dry matter and macronutrients by the Caeté tomato under field conditions. *Dyna*, v. 85, n. 207, p. 101-106, out./dez. 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v85n207/0012-7353-dyna-85-207-101.pdf>>. Acessado em Fev. 8, 2021. doi: 10.15446/dyna.v85n207.72277.

- FERNANDES, P.D. et al. Nutrição mineral de hortaliças: XXVII - absorção de nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), em cultivo rasteiro. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz**, v. 32, p. 595-608, 1975. Disponível em <https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0071-12761975000100052&script=sci_abstract&tlng=pt>. Acessado em Jan. 18, 2021. doi: 10.1590/S0071-12761975000100052.
- HERNÁNDEZ, M.I. et al. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. **Cultivos Tropicales**, v. 30, n. 4, p. 71-78, 2009. Disponível em: <<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v30n4/ctr11409.pdf>>. Acessado em Fev. 8, 2021.
- MORALES, F. et al. Characterization of tomato plants subjected to water deficit. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 16, n. 1, p. 9-17, jan./fev. 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v33n1/0102-0536-hb-33-01-00027.pdf>>. Acessado em Fev. 8, 2021. doi: 10.1590/S0102-053620150000100005.
- MUELLER, S. et al. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. *Horticultura Brasileira*, v. 31, n.1, p. 86-92, jan./mar. 2013. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v31n1/v31n1a14.pdf>>. Acessado em Fev. 8, 2021. doi: 10.1590/S0102-05362013000100014.
- OMENA-GARCIA, R.P. et al. Growth and metabolic adjustments in response to gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 159, p. 95-107, 2019. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847218313911>>. Acessado em Jan. 18, 2021. doi: 10.1016/j.envexpbot.2018.12.011.
- PEIL, R.M.N.; GÁLVEZ, J.L. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropónico. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 265-270, abr./jun. 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/hb/v22n2/21028.pdf>>. Acessado em Fev. 8, 2021. doi: 10.1590/S0102-05362004000200020.
- PÉREZ, I. et al. Alteraciones fisiológicas y bioquímicas de dos cultivares de tomate (*lycopersicon esculentum* mill) ante condiciones de inundacion. **Cultivos Tropicales**, v. 18, n. 3, p. 30-35, 1997. Disponível em: <<file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/1997CultivosTropicales1997vol.18no.3p.30-35.pdf>>. Acessado em Jan. 18, 2021.
- PRADO, R.M. et al. Growth and nutrient absorption by Risa tomato cultivar grown in hydroponic system. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2011. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3112/7112>>. Acessado em Jan. 18, 2021. doi: 10.5433/1679-0359.2011v32n1p19.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954 p.
- TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

Tabela 1: Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre a taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração e concentração intercelular de CO₂ de plantas de tomateiro cultivadas em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.

Fatores	Taxa Fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Condutância estomática ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	Concentração intercelular de CO ₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$)
<u>Enxertia:</u>				
Plantas enxertadas	19,58 ^{ns}	0,568 ^{ns}	7,48 ^{ns}	312,81 ^{ns}
Plantas não enxertadas	20,77	0,571	7,66	312,33
<u>Número de hastes planta⁻¹:</u>				
Haste única	19,99 ^{ns}	0,611 a	7,60 ^{ns}	312,28 ^{ns}
Haste dupla	20,36	0,518 b	7,54	312,86
Média	20,17	0,567	7,57	312,57
CV%	6,1	5,4	8,8	3,1

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 2: Efeitos dos fatores enxertia e número de hastes por planta sobre a produção de massa seca de raízes (MSR), folhas (MSF), caules (MSC), frutos (MSFr) e total (MST), produtividade (P) e massa média dos frutos (MM), de tomateiro cultivadas em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.

Fatores	MSR (g m ⁻²)	MSF (g m ⁻²)	MSC (g m ⁻²)	MSFr (g m ⁻²)	MST (Kg m ⁻²)	P (Kg m ⁻²)	MM (g fruto ⁻¹)
<u>Enxertia:</u>							
Plantas enxertadas	454,4 a	878,8 a	467,1 a	669,5 ^{ns}	2,5 ^{ns}	12,8 ^{ns}	137,1 ^{ns}
Plantas não enxertadas	399,1 b	781,8 b	432,6 b	649,1	2,3	12,3	131,5
<u>Número de hastes planta⁻¹:</u>							
Uma haste	355,3 b	988,9 a	590,2 a	734,5 a	2,7 a	14,3 a	135,1 ^{ns}
Duas hastes	540,2 a	671,7 b	309,4 b	584,1 b	2,1 b	10,7 b	133,4
Média	437,3	830,3	449,8	659,3	2,4	9,8	134,3
CV%	6,1	4,5	4,3	9,8	4,1	6,1	9,5

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 3: Extração de macro e micronutrientes em relação aos diferentes órgãos de plantas (Pl.) enxertadas e não enxertadas com condução em uma e duas hastes de tomateiro cultivadas em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.

Fatores	Macronutrientes (kg ha ⁻¹)					Micronutrientes (g ha ⁻¹)			
	N	K	P	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
Frutos									
<u>Enxertia:</u>									
Pl. enxertadas	154,9 b	285,2 ^{ns}	38,2 b	8,9 ^{ns}	13,4 ^{ns}	393,7 ^{ns}	39,3 ^{ns}	97,3 ^{ns}	189,9 ^{ns}
Pl. não enxertadas	175,2 a	286,4	44,2 a	10,4	14,8	349,9	45,0	99,9	193,1
<u>Nº de hastes planta⁻¹:</u>									
Uma haste	190,0 a	326,9 a	48,4 a	10,9 ^{ns}	15,3 ^{ns}	428,3 ^{ns}	50,1 ^{ns}	119,4 a	225,4 a
Duas hastes	140,0 b	244,8 b	33,9 b	8,3	12,8	315,4	34,3	77,8 b	157,3 b
Média	165,0	285,8	41,2	9,6	14,1	371,8	42,2	98,6	191,4
CV%	8,1	13,5	9,0	23,3	22,3	8,5	30,4	18,9	9,4
Folhas									
<u>Enxertia:</u>									
Pl. enxertadas	203,2 ^{ns}	321,2 a	44,1 b	215,7 ^{ns}	63,4 a	705,4 ^{ns}	27,2 ^{ns}	768,4 a	375,9 a
Pl. não enxertadas	193,9	248,6 b	53,5 a	205,3	55,9 b	806,0	43,1	621,1 b	328,5 b
<u>Nº de hastes planta⁻¹:</u>									
Uma haste	277,1 a	391,5 a	69,9 a	289,1 a	78,9 a	1055,3 a	51,7 a	1016,2 a	482,2 a
Duas hastes	119,9 b	178,6 b	27,7 b	132,0 b	40,4 b	456,1 b	18,6 b	373,3 b	222,3 b
Média	198,5	285,0	48,8	210,5	59,7	755,7	35,2	694,8	352,2
CV%	3,9	5,3	10,5	17,5	7,2	28,0	33,8	12,0	9,3
Caule									
<u>Enxertia:</u>									
Pl. enxertadas	64,7 ^{ns}	139,5 ^{ns}	20,3 b	35,3 ^{ns}	10,6 ^{ns}	215,4 ^{ns}	8,9 b	111,9 a	164,1 b
Pl. não enxertadas	68,6	140,8	26,3 a	38,2	11,2	201,7	31,3 a	91,8 b	186,7 a
<u>Nº de hastes planta⁻¹:</u>									
Uma haste	94,4 a	189,9 a	32,6 a	50,3 a	14,7 a	277,8 a	19,7 ^{ns}	144,6 a	258,5 a
Duas hastes	38,9 b	90,5 b	13,9 b	23,2 b	7,2 b	139,4 b	20,5	59,1 b	92,2 b
Média	66,7	140,2	23,3	36,8	10,9	208,6	20,1	101,9	175,4
CV%	7,2	2,4	6,7	13,8	9,6	6,8	77,7	10,7	7,8
Raiz									
<u>Enxertia:</u>									
Pl. enxertadas	96,6 ^{ns}	124,1 b	97,2 a	236,8 a	22,7 a	4813,1 a	32,4 b	1188,0 ^{ns}	516,9 ^{ns}
Pl. não enxertadas	88,9	152,5 a	82,2 b	164,7 b	18,9 b	4126,1 b	40,6 a	961,3	464,0
<u>Nº de hastes planta⁻¹:</u>									
Uma haste	76,9 b	125,4 b	70,7 b	141,2 b	15,2 b	3480,0 b	32,7 b	823,9 b	396,8 b
Duas hastes	108,6 a	151,1 a	108,6 a	260,2 a	26,5 a	5458,8 a	40,3 a	1325,5 a	584,1 a
Média	92,8	138,3	89,7	200,7	20,8	4469,5	36,5	1074,7	490,5
CV%	9,9	8,1	6,2	19,6	9,4	8,1	8,5	16,2	19,7

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

Tabela 4: Efeito da enxertia e do número de hastes por planta na extração total de nutrientes minerais da cultura do tomateiro cultivadas em sistema de aeroponia, na cidade de Capão do Leão/RS.

Fatores	Macronutrientes (t ha ⁻¹)					Micronutrientes (kg ha ⁻¹)			
	N	K	P	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
Extração total									
<u>Enxertia:</u>									
Pl. enxertadas	1,3 ^{ns}	2,2 ^{ns}	0,5 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,3 ^{ns}	14,6 ^{ns}	0,4 ^{ns}	5,4 a	3,1 ^{ns}
Pl. não enxertadas	1,3	2,1	0,5	1,0	0,3	13,1	0,3	4,3 b	2,9
<u>Nº de hastes planta⁻¹:</u>									
Uma haste	1,8 a	2,9 a	0,6 a	1,4 a	0,3 a	14,7 ^{ns}	0,4 a	5,9 a	3,8 a
Duas hastes	0,8 b	1,4 b	0,4 b	0,9 b	0,2 b	13,0	0,2 b	3,8 b	2,2 b
Média	1,3	2,2	0,5	1,1	0,3	13,9	0,3	4,9	3,0
CV%	8,0	10,6	7,0	13,7	7,6	8,6	30,2	7,1	9,6

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

ns: não significativo pelo teste F, a 5% de probabilidade.

7 Considerações Finais

As plantas enxertadas apresentam maior crescimento vegetativo e reprodutivo do que as plantas não enxertadas, independentemente da estação do ano e da safra de cultivo, devido a sua característica de conferir maior vigor às plantas. De maneira similar, o sistema radicular das plantas enxertadas apresenta maior crescimento, independentemente do ciclo de cultivo.

Por outro lado, os resultados produtivos apresentam respostas variáveis conforme as condições ambientais. Em condições de temperatura e luminosidade mais adequadas à cultura, ou seja, ciclos produtivos de primavera/verão e verão, as plantas enxertadas apresentam resultados produtivos superiores que, inclusive, independem da forma de condução, se com haste única ou duas hastes. No entanto, as plantas de pé franco são mais produtivas em ciclo de cultivo com restrição de luminosidade e ocorrência frequente de baixas temperaturas.

Independentemente da enxertia, as plantas de tomateiro do tipo salada e italiano apresentam crescimento, expresso em acúmulo significativo de massa seca, em condições de radiação solar incidente iguais ou superiores a $4,8 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, podendo este ser considerado o novo limite trófico para a cultura, valor este muito inferior ao valor de $8,4 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, referenciado pela escassa literatura sobre limite trófico para hortaliças de clima tropical e subtropical. No entanto, este crescimento significativo em massa não, necessariamente, assegura resultados produtivos significativamente lucrativos.

Esta tese confirma a alegação dos produtores de maior vigor e longevidade das plantas enxertadas que justificam o seu uso em sistemas de cultivo sem solo. A maior produtividade é parcialmente confirmada e, conforme mencionado anteriormente, depende da estação de cultivo.

A qualidade dos frutos em relação à concentração de açúcares, expressa pela concentração de sólidos solúveis, não sofre alteração com o uso da enxertia. Além disso, o tamanho dos frutos tende a ser maior nas plantas enxertadas.

O fato de a enxertia aumentar a produtividade e não afetar negativamente os principais atributos de qualidade dos frutos é relevante para que a tecnologia seja amplamente adotada nos sistemas de cultivo em substrato.

A condução das plantas em haste única propicia maior produtividade por unidade de área (de 1 a $3,6 \text{ kg m}^{-2}$) que plantas conduzidas com duas hastes, sendo

esta produção mais que suficiente para cobrir os custos com um maior número de mudas por unidade de área.

O sistema de cultivo empregado, em calhas, aeroponia ou vasos pode afetar o resultado produtivo das plantas enxertadas. O sistema de calhas propicia um maior crescimento e expansão das raízes por ser um sistema contínuo, sem limitações físicas ao longo do seu comprimento. De maneira semelhante, o sistema de aeroponia permite a expansão livre das raízes no ambiente de crescimento radicular. No entanto, o sistema de vasos, mesmo contendo volume de substrato por planta similar ao empregado no sistema calhas, oferece limitação ao crescimento das raízes, devido às limitações das paredes do vaso, dificultando sua expansão. Acredita-se que, por este motivo, resultados equivalentes ou inferiores das plantas enxertadas em relação às plantas de pé franco no sistema de cultivo em vaso podem ocorrer com maior facilidade.

A partir das respostas obtidas nesta tese, a técnica de enxertia apresenta-se promissora para ser aplicada aos cultivos sem solo e poderá proporcionar melhores resultados técnicos e monetários, a partir do momento que houver disponibilidade de cultivares comerciais de porta-enxerto, e até mesmo de pé franco, específicas para estes sistemas de cultivo, com tolerância a altas e baixas temperaturas do meio de crescimento radicular e, inclusive, resistência à salinidade, que é uma condição frequentemente ocorrente nos cultivos em substrato com recirculação da solução drenada, por exemplo.

Além disso, mais estudos são necessários, visando testar cultivares de tomateiro e sua interação com os diferentes porta-enxertos de tomateiro e outras espécies de solanáceas. Assim como, ensaios para buscar identificar a adaptação das plantas enxertadas a diferentes sistemas de cultivo sem solo (hidropônico do tipo NFT; com o emprego de diferentes substratos em sistema “aberto” e “fechado”, e uso de recipientes variados, como calhas, vasos, slabs, bolsas etc); determinar o volume de substrato ou tamanho de canal de cultivo, a condutividade elétrica das soluções e as formas de condução das plantas. Pois, nesta área de produção houve um grande avanço nas últimas décadas no Brasil, mas ainda há um longo caminho pela frente para atingirmos a máxima eficiência técnica e produtiva.

Referências

- ABDELHAFEEZ, A. T.; HARSSEMA, H.; VERKERK, K. Effects of air temperature, soil temperature and soil Moisture on growth and development of tomato itself and grafted on its own and egg-plant rootstock. **Scientia Horticulturae**, v.3, p.65-73, 1975.
- ABDELMAGEED, A. H. A.; GRUDA, N. Influence of grafting on growth, development and some physiological parameters of tomatoes under controlled heat stress conditions. **European Journal of Horticultural Science**, v.74, n.1, p.16-20, 2009.
- ALBUQUERQUE NETO, A. A. R; PEIL, R. M. N. Produtividade biológica de genótipos de tomateiro em sistema hidropônico no outono/inverno. **Horticultura Brasileira**, v.30, n.4, p.613-619, 2012. Doi:10.1590/S0102-05362012000400009.
- AL-HARBI, A.; HEJAZI, A.; AL-OMRAN, A. Responses of grafted tomato (*Solanum lycopersicon* L.) to abiotic stresses in Saudi Arabia. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v.24, p.1274-1280, 2017. Doi:10.1016/j.sjbs.2016.01.005.
- ALTUNLU, H.; GUL, A. Increasing drought tolerance of tomato plants by grafting. **Acta Horticulturae**, v.960, p.183-190, 2012. Doi:10.17660/ActaHortic.2012.960.26.
- ALVARENGA, Marco Antônio Rezende. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2.ed. Lavras: Editora Universitária de Lavras, 2013. 455 p.
- ANDRIOLO, J. L. et al. Crescimento e produtividade de plantas de tomateiro em cultivo protegido sob alta densidade e desfolhamento. **Ciência Rural**, v.34, p.1251-1253, 2004.
- ARGERICHA, C. A.; SMITH, P. A. The effect of rootstock on yield and quality in processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, v.1233, p.13-18, 2019. Doi:10.17660/ActaHortic.2019.1233.3.
- AUMONDE, T. Z. et al. Estádios morfológicos do crescimento de cucurbitáceas e tomateiro visando o uso em enxertia. **Scientia Plena**, v.8, p.1-6, 2012.

- BASTOS, Ana R. R. et al. Nutrição mineral e adubação, In: ALVARENGA, Marco A.R. **Tomate produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2ed. Lavras: Editora Universitária, 2013. Cap.5, p. 63-130.
- BECKMANN, M. Z. et al. Solar radiation measured in protected ambient with tomato culture in summer-autumn seasons in Rio Grande do Sul State. **Ciência Rural**, v.36, n.1, p.86-92, 2006. Doi:10.1590/S0103-84782006000100013.
- BENINCASA, Margarida Maria Pereira. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 41 p.
- BHATT, R. M. et al. Interspecific grafting to enhance physiological resilience to flooding stress in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **Scientia Horticulturae**, v.182, p.8-17, 2015. Doi:10.1016/j.scienta.2014.10.043.
- BULLER, S.; INGLIS. D.; MILES, C. Plant growth, fruit yield and quality, and tolerance to Verticillium wilt of grafted watermelon and tomato in field production in the Pacific Northwest. **Hort Science**, v.48, n.8, p.1003-1009, 2013. Doi:10.21273/HORTSCI.48.8.1003.
- CARDOSO, S. C. et al. Qualidade de frutos de tomateiro com e sem enxertia. **Revista Bragantia**, Campinas, v.65, n.2, p.269-274, 2006.
- CARVALHO, C.; KIST, B. B.; TREICHEL, M. **Anuário brasileiro de hortaliças 2016**. Santa Cruz do Sul: Gazeta Santa Cruz, 2016. 64p.
- CEASA-RS. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul SA. **Cotações**. Disponível em: <<http://www.ceasa.rs.gov.br/>>. Acesso em fevereiro de 2014.
- COLLA, G. et al. The effectiveness of grafting to improve NaCl and CaCl₂ tolerance in cucumber. **Scientia Horticulturae**, v.164, p.380–391, 2013. Doi: 10.1016/j.scienta.2013.09.023.
- CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.35, n.3, p.271-276, 2013. Doi:10.4025/actasciagron.v35i3.21251.
- DE KONING, A. N. M. Long-term temperature integration of tomato. Growth and development under alternating temperature regimes. **Scientia Horticulturae**, v.45, p.117-127, 1990. Doi:10.1016/0304-4238(90)90074-O.

- DE LUCENA, R. R. M. et al. Measurement of acerola leaf area. **Caatinga**, v.24, n.2, p.40-45, 2011.
- DELGADO-TOBÓN, A. E.; APERADOR-CHAPARRO, W. A.; GARCÍA-CÁCERES, R. G. Effect of modified greenhouse covers on the development of plants of *lycopersicon esculentum* mill. **Dyna**, v.87, p.91-97, 2020. Doi:10.15446/dyna.v87n213.81082.
- DIÓGENES, T. B. A. et al. Accumulation of dry matter and macronutrients by the Caeté tomato under field conditions. **Dyna**, v.85, n.207, p.101-106, 2018. Doi: 10.15446/dyna.v85n207.72277.
- DJIDONOU, D. et al. Influence of interspecific hybrid rootstocks on tomato growth, nutrient accumulation, yield, and fruit composition under greenhouse conditions. **Hort Technology**, v.26, n.6, p.868-877, 2017. Doi:10.21273/HORTTECH03810-17.
- DJIDONOU, D. et al. Nutritional quality of field-grown tomato fruit as affected by grafting with interspecific hybrid rootstocks. **Hort Science**, v.51, n.12, p.1618-1624, 2016. Doi:10.21273/HORTSCI11275-16.
- DUARTE, G. R. B. et al. Measure and estimation of the evapotranspiration of tomato plants cultivated with organic fertilization in protected ambient. *Semina: Ciências Agrárias*, v.31, n.3, p.563–574, 2010. Doi: 10.5433/1679-0359.2010v31n3p563.
- ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA DE PELOTAS. **Boletim Agroclimatológico**. Disponível em < <http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/boletim.php>>. Acesso em julho de 2015.
- ESTañ, M. T. Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n.412, p. 703-712, 2005.
- FAO. **Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops**: principles for Mediterranean climate areas. Rome: FAO, 2013. 640p.
- FAO. **Protected cultivation in the Mediterranean climate**. Roma: FAO, 1990. 313 p.

- FERNANDES, P. D. et al. Nutrição mineral de hortaliças: XXVII - absorção de nutrientes pelo tomateiro (*Lycopersicon esculentum*, Mill.), em cultivo rasteiro. **An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz**, v. 32, p. 595-608, 1975. Doi: 10.1590/S0071-12761975000100052.
- FLORES, F. B. et al. The effectiveness of grafting to improve tomato fruit quality. **Scientia Horticulturae**, v.125, n.3, p.211–217, 2010. Doi: 10.1016/j.scienta.2010.03.026.
- FONTES, P. C. R. et al. Produção e qualidade do tomate produzido em substrato, no campo e em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.3, p.614-619, 2004.
- GAION, L. A.; BRAZ, L. T.; CARVALHO, R. F. Grafting in vegetable crops:a great technique for agriculture. **International Journal of Vegetable Science**, v.24, n.1, p.85-102, 2017. Doi:10.1080/19315260.2017.1357062.
- GARCIA, Rebeca Patrícia Omena. **Efeitos de giberelinas para respostas em plantas de tomate à deficiência hídrica**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Fegetal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GOMES, R. F. et al. Rootstocks for tomato conducted with four stems. *Revista Ceres*, v.64, n.2, p.186-191, 2017. Doi:10.1590/0034-737X201764020011.
- GOTO, Romy; SANTOS, Haydée Siqueira; CAÑIZARES, Kathia Aalexandra Lara. **Enxertia em hortaliças**. São Paulo: UNESP, 2003. 85 p.
- HERNÁNDEZ, M. I. et al. Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su efecto en la acumulación de biomasa y extracción de nutrientes. **Cultivos Tropicales**, v.30, n.4, p.71-78, 2009.
- HOCHMUTH, G. J.; HOCHMUTH, R. C. Production of greenhouse tomatoes - Florida greenhouse vegetable production handbook. **Institute of Food and Agricultural Sciences**, v.3, p.1-18, 2012.

- İŞERİ, Ö. D. et al. High salt induced oxidative damage and antioxidant response in tomato grafted on tobacco. **CHILEAN Journal of Agricultural Research**, v.75, n.2, p.192-201, 2015. Doi:10.4067/S0718-58392015000200008.
- JIMENEZ, S. et al. Physiological, biochemical and molecular responses of four prunus rootstocks submitted to drought stress. **Tree Physiology**, v.33, p.1061-1075, 2013. Doi:10.1093/treephys/tpt074.
- KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. **Disciplinarum Scientia**, v. 2, p.171-182, 2001.
- KUMAR, P. et al. Vegetable grafting as a tool to improve drought resistance and water use efficiency. **Frontiers in Plant Science**, v.8, n.1130, p.1-9, 2017. Doi: 10.3389/fpls.2017.01130.
- LANG, K. M.; NAIR, A. Effect of tomato rootstock on hybrid and heirloom tomato performance in a midwest high tunnel production system. **Hort Science**, v.54, n.5, p.840-845, 2019. Doi:10.21273/HORTSCI13874-19.
- LEE, J. M. et al. Current status of vegetable grafting: Diffusion, grafting techniques, automation. **Scientia Horticulturae**, v.127, p. 93-105, 2010.
- LOOS, R. A.; CALIMAN, F. R. B.; SILVA, D. J. H. Enxertia, produção e qualidade de tomateiros cultivados em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.232-235, 2009. Doi:10.1590/S0103-84782009000100037.
- LÓPEZ-MARÍN, J. et al. Grafting is an efficient alternative to shading screens to alleviate thermal stress in greenhouse-grown sweet pepper. **Scientia Horticulturae**, v.149, p.39-46, 2013. Doi:10.1016/j.scienta.2012.02.034.
- MEYER, Lani. **Grafting to increase high tunnel tomato productivity in the central United States**. 2016. 97 f. Ph.D. diss. Kansas State Univ., Manhattan.
- MOHAMMED, S. M. T. et al. Effect of grafting on diferent rootstocks on growth and productivity under glasshouse conditions. **Asian Journal Agricultural Research**, v.3, n.2, p.47-54, 2009. Doi:10.3923/ajar.2009.47.54.

- MORALES, F. et al. Characterization of tomato plants subjected to water deficit. **Scientia Agraria**, v.16, n.1, p.9-17, 2015. Doi: 10.1590/S0102-053620150000100005.
- MUELLER, S. et al. Produtividade de tomate sob adubação orgânica e complementação com adubos minerais. **Horticultura Brasileira**, v.31, n.1, p.86-92, 2013. Doi: 10.1590/S0102-05362013000100014.
- MUNNER, S. et al. Physiological and proteomic investigations to study the response of tomato graft unions under temperature stress. **Plos One**, v.11, n.6, p.1-23, 2016. Doi:10.1371/journal.pone.0157439.
- NAWAZ, M. A. et al. Grafting: a technique to modify ion accumulation in horticultural crops. **Frontiers in Plant Science**, v.7, n. 1457, p.1-15, 2016.
- NTATSI, G. et al. Growth, yield, and metabolic responses of temperature-stressed tomato to grafting onto rootstocks differing in cold tolerance. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v.139, n.2, p.230-243, 2014. Doi:10.21273/JASHS.139.2.230.
- OMENA-GARCIA, R. P. et al. Growth and metabolic adjustments in response to gibberellin deficiency in drought stressed tomato plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 159, p. 95-107, 2019. Doi: 10.1016/j.envexpbot.2018.12.011.
- PALARETTI, L. F. et al. Soma térmica para o desenvolvimento dos estádios do tomateiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.6, n.3, p.240-246, 2012. Doi:10.7127/rbai.v6n300089.
- PEDÓ, T. et al. Partitioning of assimilates and temporal distribution of productivity in grafted tomato plants. **Revista Brasileira de Biociências**, v.11, n.3, p.307-312, 2013.
- PEIL, R. M. N. A enxertia na produção de mudas de hortaliças. **Ciência Rural**, v. 33, n. 6, p. 1169-1177, 2003. Doi:10.1590/S0103-84782003000600028.
- PEIL, R. M. N.; LÓPEZ-GÁLVEZ, J. Rendimiento de plantas de tomate injertadas y efecto de la densidad de tallos en el sistema hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.2, p.265-270, 2004.

- PÉREZ, I. et al. Alteraciones fisiológicas y bioquímicas de dos cultivares de tomate (*lycopersicon esculentum* mill) ante condiciones de inundacion. **Cultivos Tropicales**, v.18, n.3, p.30-35, 1997.
- PERIN, L. et al. Solar radiation threshold and growth of mini tomato plants in mild autumn/winter condition. **Scientia Horticulturae**, v.239, p.156-162, 2018. Doi:10.1016/j.scientia.2018.05.037.
- PERIN, Lais. **Sistemas fechados de cultivo sem solo, produção e ecofisiologia do minitomateiro**. 2017. 120 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- PRADO, R. M. et al. Growth and nutrient absorption by Raisal tomato cultivar grown in hydroponic system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2011. Doi: 10.5433/1679-0359.2011v32n1p19.
- RAHMATIAN, A.; DELSHAD, M.; SALEHI, R. Effect of grafting on growth, yield and fruit quality of single and double stemmed tomato plants grown hydroponically. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v.55, n.2, p.115-119, 2014. Doi: 10.1007/s13580-014-0167-6.
- REIS, L. S. et al. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. **Agriambi**, v.17, n.4, p.386-391, 2013. Doi:10.1590/S1415-43662013000400005.
- 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. Doi: 10.1007/s13580-015-0042-0.
- RIGA, P. et al. Rootstock effect on serotonin and nutritional quality of tomatoes produced under low temperature and light conditions. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.46, p.50-59, 2016. Doi: 10.1016/j.jfca.2015.11.003.
- ROCHA, M. Q.; PEIL, R. M. N.; COGO, C. M. Rendimento do tomate cereja em função do cacho floral e da concentração de nutrientes em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.4, p. 466-471, 2010.

- ROSA, Douglas. Schulz. Bergmann. **Número de hastes para o cultivo do tomateiro grape em substrato de casca de arroz e sistema fechado**. 2015. 126 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- ROUPHAEL, Y. et al. Impact of grafting on product quality of fruit vegetables. **Scientia Horticulturae**, v.127, p.172-179, 2010.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; ROMERO, L.; RUIZ, M. J. Role of grafting in resistance to water stress in tomato plants: Ammonia production and assimilation. **Journal of Plant Growth Regulation**, v.32, p.831-842, 2013. Doi: 10.1007/s00344-013-9348-2.
- SANTOS, H. S.; GOTO, R. Enxertia em plantas de pimentão no controle da murcha de fitóftora em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.22, n.1, p.45-49, 2004.
- SANTOS, Haydée S. Histórico de enxertia em hortaliças: utilização e pesquisa. In GOTO, Romy; SANTOS, Haydée. S.; CAÑIZARES, Kathia. A. L. (Org). **Enxertia em hortaliças**. São Paulo: UNESP, 2003. p. 11-14.
- SAVVAS, D. et al. Impact of grafting and rootstock on nutrient-to-water uptake ratios during the first month after planting of hydroponically grown tomato. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v.2017, p.1-9, 2017. Doi: 10.1080/14620316.2016.1265903.
- SCHMIDT, D. et al. Caracterização fenológica, filocrono e requerimento térmico de tomateiro italiano em dois ciclos de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v.35, n.1, p.89-96, 2017. Doi:10.1590/S0102-053620170114.
- SCHWARZ, D. et al. Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: thermal stress, water stress and organic pollutants. **Scientia Horticulturae**, v.127, p.162-171, 2010. Doi:10.1016/j.scienta.2010.09.016.
- SEMINIS®. **Nossos Produtos/culturas/porta-enxerto**. Disponível em: <<http://www.seminis.com.br/Produtos/>>. Acesso em agosto de 2017.
- SHAMSHIRI, R. R. et al. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation

- of tomato: a review. **International Agrophysics**, v.32, p.287-302. 2018. Doi:10.1515/intag-2017-0005.
- SINGH, H. et al. Tomato grafting: a global perspective. **Hort Science**, v.52, n.10, p.1328-1336, 2017. Doi: 10.21273/HORTSCI11996-17.
- SIRTOLI, L. F., et al. Avaliação de diferentes porta-enxertos de tomateiro cultivados em ambiente protegido. **Revista Biodiversidade** v.7 n.1, 24-28p, 2008.
- SOARE, R.; DINU, M.; BABEANU, C. The effect of using grafted seedlings on the yield and quality of tomatoes grown in greenhouses. **Hort Science**, v.45, n.2, p.76-82, 2018. Doi:10.17221/214/2016-HORTSCI.
- SOARES, A. P. J.; FARIAS, L. M. Efeitos do licopeno do tomate na prevenção do câncer de próstata. **Revista Interdisciplinar NOVAFAP**, Teresina. v.5, n.2, p.50-54, 2012.
- TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed, 2013. 954 p.
- TEDESCO, Marino José et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TURHAN, A. et al. Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality. **Hort Science**, v.38, n.4, p.142-149, 2011. Doi:10.17221/51/2011-HORTSCI.
- URLIĆ, B. et al. Effect of partial root-zone drying on grafted tomato in commercial greenhouse. **Hort Science**, v.47, n.1, p.36-44, 2020. Doi:10.17221/130/2018-HORTSCI.
- VELASCO-ALVARADO, M. J. et al. Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomato (*Solanum Lycopersicum* L.) injertado. **Interciencia**, v.41, n.10, p.703-708. 2016.
- VENEMA, J. H. et al. Grafting tomato (*Solanum lycopersicum*) onto the rootstock of a high-altitude accession of *Solanum habrochaites* improves suboptimal-temperature tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.63, p.359-367, 2008.

- VIANA, M. M. S et al. Composição fitoquímica e potencial antioxidante em hortaliças não convencionais. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 4, p. 504-509, 2015.
- VIUDA-MARTOS, M. et al. Tomato and tomato byproducts. Human health benefits of lycopene and its application to meat products: a review. **Food science and nutrition**, v.54, n.8, p.1032-1049, 2014. Doi: 10.1080/10408398.2011.623799.
- YASINOK, A. E. et al. Grafting tomato plant on tobacco plant and its effect on tomato plant yield and nicotine content. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.89, n.7, p.1122-1128, 2009.

Apêndices



Apêndice A: Sistema de cultivo em aeroponia.



Apêndice B: Raízes do sistema de cultivo em aeroponia.



Apêndice C: Sistema de cultivo em calhas.



Apêndice D: Sistema de cultivo em vasos.



Apêndice E: Muda enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).



Apêndice F: Raiz aberta planta enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).



Apêndice G: Raiz planta enxertada (esquerda) e não enxertada (direita).



Apêndice H: Abortamento de flores, frutos (esquerda) e má formação de frutos (direita).



Apêndice I: Frutos de tomateiro com poucas ou nenhuma semente.



Apêndice J: Comparação entre frutos com abortamento de embrião e normais de duas cultivares de tomateiro.