

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

IGOR FRANCO REZENDE

**ANATOMIA E FISIOLOGIA DE TANGERINEIRA E TANGOREIRO
INTERENXERTADOS COM TRIFOLIATEIRO 'FLYING DRAGON' SOB
CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

IGOR FRANCO REZENDE

**ANATOMIA E FISIOLOGIA DE TANGERINEIRA E TANGOREIRO
INTERENXERTADOS COM TRIFOLIATEIRO ‘FLYING DRAGON’ SOB
CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO**

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

Orientador: Carlos Eduardo M. dos Santos
Coorientadores: Mateus Pereira Gonzatto
Edgard Augusto T. Picoli

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

R467a
2024

Rezende, Igor Franco, 1993-

Anatomia e fisiologia de tangerineira e tangoreiro interenxertados com trifoliateiro 'Flying Dragon' sob condição de déficit hídrico / Igor Franco Rezende. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (85 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Agronomia, 2024.

Referências bibliográficas: f. 70-85.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.718>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Cítricos - Enxertia. 2. Cítricos - Resistência à seca.
I. Santos, Carlos Eduardo Magalhães dos, 1980-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.
III. Título.

CDD 22. ed. 634.30441

Bibliotecário(a) responsável: Euzébio Luiz Pinto CRB-6/3317


IGOR FRANCO REZENDE

**ANATOMIA E FISIOLOGIA DE TANGERINEIRA E TANGOREIRO
INTERENXERTADOS COM TRIFOLIATEIRO 'FLYING DRAGON' SOB
CONDIÇÃO DE DÉFICIT HÍDRICO**


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

APROVADA: 26 de julho de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **IGOR FRANCO REZENDE**
Data: 24/10/2024 14:23:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Igor Franco Rezende
Autor

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS EDUARDO MAGALHAES DOS SANTOS**
Data: 24/10/2024 14:45:00-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Carlos Eduardo Magalhães dos Santos
Orientador

Aos meus pais, Jane e Welton, e ao meu irmão, Vitor: pessoas maravilhosas que nunca mediram esforços para que eu sempre conseguisse atingir meus objetivos, e que, sem eles ao meu lado, esta imensurável conquista não teria nenhum valor.

Aos meus avós, Wilson, Geralda, Alvino e Maria, exemplos de luta, trabalho e superação.

Aos meus familiares, por todo apoio, carinho e momentos de alegria.

À minha noiva Carolina, pelas palavras carinhosas, compreensão e amor que me fizeram chegar a esta inestimável conquista.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de poder acordar, levantar todos os dias e vivenciar todas as maravilhas criadas por ELE, e por toda sabedoria e paciência a mim depositadas.

Aos meus pais, Jane e Welton, pela criação exemplar, por todos os ensinamentos, por sempre me incentivarem a buscar meus ideais, pelos momentos de carinho e amor que nunca faltaram e por sempre se fazerem presentes, principalmente nos momentos de dificuldade.

Ao meu irmão, Vitor, pela amizade, pela paciência, pelo apoio, pelo incentivo e pelos momentos de alegria vividos em família.

À minha noiva, Carolina, por todo carinho, amor, compreensão e, sobretudo, pela paciência que teve comigo, em todos estes anos vividos ao meu lado.

Aos meus padrinhos, Lúcia e Wornon, por toda confiança, carinho e por sempre incentivarem na minha caminhada, sendo meus segundos pais.

Aos meus familiares, que sempre torceram pela minha felicidade e sempre estiveram presentes em todos os momentos da minha vida. Sem eles eu não seria ninguém!

Ao corpo docente da UFV, por todo conhecimento valioso transmitido.

Ao Prof. Dr. Carlos Eduardo Magalhães dos Santos, pelos imensos conhecimentos transmitidos, pela paciência e orientação e, sobretudo, pela amizade construída.

Aos Profs. Dr. Mateus Pereira Gonzatto e Dr. Edgard Augusto T. Picoli, pela coorientação, pela paciência e pelos imensos conhecimentos transmitidos.

Aos colegas da Fruticultura, Luanna, Joseane e orientados PIBIC do professor Mateus por todo auxílio prestado na condução deste trabalho, pela paciência, pelos conselhos e, sobretudo, pela amizade construída.

Aos amigos e agregados da república “Curtiço” (Brunno “Anão”, Kléver “Boquinha”, Raphael “Mandruvá”, Denisson “Denishow”, Paulo “Paulão”, “Bolívia”), pela amizade construída e pelos momentos vividos nesta caminhada.

Ao meu primo Gustavo “Gusão”, pela amizade, pela paciência, pelos conselhos e por todos os anos vividos juntos em Viçosa.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que este sonho se tornasse realidade!

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001”.

“O único lugar aonde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”.

(Albert Einstein)

BIOGRAFIA

IGOR FRANCO REZENDE, filho de Jane Cristina Franco Rezende e Welton Luiz Rezende, nasceu na cidade de Sete Lagoas, Minas Gerais, em 08 de agosto de 1993.

Estudou todo o ensino fundamental e médio em escola pública, sendo da quinta série ao segundo ano, na Escola Estadual Maurilo de Jesus Peixoto, e formou o terceiro ano na Escola Estadual Professor Rousset.

No segundo semestre de 2012, ingressou na Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), *Campus* Sete Lagoas, graduando-se em Engenharia Agrônômica em julho de 2017.

Em agosto de 2017, iniciou o mestrado no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais. Defendeu sua dissertação em julho de 2019 obtendo o título de Master of Sciences em Fitotecnia.

Em agosto de 2019, deu início ao doutorado no Programa de Pós-graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais.

Atualmente, atua como Extensionista Agropecuário II da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER – MG).

RESUMO

REZENDE, I. F., D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2024. **Anatomia e fisiologia de tangerineira e tangoreiro interenxertados com trifoliato 'Flying Dragon' sob condição de déficit hídrico.** Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Coorientadores: Mateus Pereira Gonzatto e Edgard Augusto T. Picoli.

A interenxertia é usada na citricultura para superar a incompatibilidade entre copa e porta-enxerto, além de reduzir o vigor das plantas, favorecendo o adensamento em pomares devido a redução no porte das mesmas. A escolha correta de copa, porta-enxerto e interenxerto, que combine características agronômicas desejadas, é crucial para essa técnica ser uma alternativa eficaz no cultivo de citros. O estudo avaliou aspectos fisiológicos e anatômicos em tangerineiras e tangoreiros enxertados sobre diferentes porta-enxertos sob déficit hídrico. Foram conduzidos dois experimentos: no Experimento 1, a tangerineira 'Ponkan' foi enxertada sobre os porta-enxertos 'Cravo' (PC), 'Swingle' (PS) e 'Flying Dragon' (PF), com interenxertia de 'Flying Dragon' sobre 'Cravo' (PFC) e sobre 'Swingle' (PFS). No Experimento 2, o tangoreiro 'Murcott' foi enxertado nas mesmas combinações, formando MC ('Murcott' sobre 'Cravo'), MS ('Murcott' sobre 'Swingle'), MF ('Murcott' sobre 'Flying Dragon'), MFC ('Murcott' interenxertado em 'Flying Dragon' sobre 'Cravo') e MFS ('Murcott' interenxertado em 'Flying Dragon' sobre 'Swingle'). Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, sob delineamento em blocos casualizados com três repetições. As variáveis analisadas incluíram potencial hídrico, trocas gasosas, área foliar, densidade e índice estomático, teor de umidade do solo, características do sistema radicular e diâmetro caulinar. Nos dois experimentos, a umidade do solo diminuiu com o tempo após a suspensão da irrigação, afetando as trocas gasosas e a fotossíntese. No Experimento 1, apenas o comprimento de raiz apresentou diferença significativa, sendo maior em PFC (26,28% superior a PF). O diâmetro caulinar do porta-enxerto foi semelhante entre os tratamentos, mas o diâmetro caulinar do interenxerto foi maior em PFC, e o da cultivar copa foi maior em PC. O teor de umidade do solo reduziu-se com o déficit hídrico, sendo o menor em PF e o maior em PS. O potencial hídrico foliar diminuiu com o déficit hídrico, sendo as maiores reduções em PC e PS. A condutância estomática (g_s), transpiração (E) e fotossíntese líquida (A) foram negativamente afetadas pelo déficit hídrico, sem reestabelecimento após a irrigação. PFS apresentou os menores valores de g_s , E e A . No Experimento 2, o diâmetro caulinar do porta-enxerto e do interenxerto foi maior em MFS, enquanto o diâmetro caulinar do enxerto foi superior em MC (34,16% maior que MF). O teor de umidade do solo reduziu-se progressivamente, com o menor valor aos 19 dias após o déficit hídrico (22,32%). Plantas MFS, MC e MS apresentaram o menor potencial hídrico na

antemanhã e ao meio-dia. MF manteve maior potencial hídrico ao meio-dia (28,06% superior a MFS). MFC teve os maiores valores de g_s e A , enquanto MFS teve os menores. O déficit hídrico reduziu significativamente E , sendo o menor valor em MFS, enquanto MFC apresentou E 31,68% superior a MFS. Ao comparar os dois experimentos, a interenxertia não influenciou os parâmetros foliares, mas o déficit hídrico afetou de forma significativa os parâmetros fisiológicos. Plantas com diferentes combinações de enxertia responderam de maneira distinta ao estresse hídrico, destacando a importância da escolha criteriosa de porta-enxertos e enxertos para maximizar a produção sob condições de déficit hídrico.

Palavras-chave: Interenxertia; *Poncirus trifoliata*; Potencial hídrico; Trocas gasosas.

ABSTRACT

REZENDE, I. F., D.Sc., Federal University of Viçosa, July 2024. **The anatomy and physiology of tangerine and tango trees intergrafted with trifoliolate 'Flying Dragon' under water deficit conditions.** Advisor: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Co-advisors: Mateus Pereira Gonzatto and Edgard Augusto T. Picoli.

Intergrafting is used in citrus farming to overcome the incompatibility between scion and rootstock, in addition to reducing plant vigor, favoring density in orchards due to the reduction in plant size. The correct choice of scion, rootstock and intergraft, which combines desired agronomic characteristics, is crucial for this technique to be an effective alternative in citrus cultivation. The study evaluated physiological and anatomical aspects in mandarin and tangor trees grafted onto different rootstocks under water deficit. Two experiments were conducted: in Experiment 1, the mandarin 'Ponkan' was grafted onto the rootstocks 'Cravo' (PC), 'Swingle' (PS) and 'Flying Dragon' (PF), with intergrafting of 'Flying Dragon' onto 'Cravo' (PFC) and onto 'Swingle' (PFS). In Experiment 2, the tangor tree 'Murcott' was grafted in the same combinations, forming MC ('Murcott' on 'Cravo'), MS ('Murcott' on 'Swingle'), MF ('Murcott' on 'Flying Dragon'), MFC ('Murcott' intergrafted on 'Flying Dragon' on 'Cravo') and MFS ('Murcott' intergrafted on 'Flying Dragon' on 'Swingle'). The experiments were conducted in a greenhouse, under a randomized block design with three replications. The variables analyzed included water potential, gas exchange, leaf area, stomatal density and index, soil moisture content, root system characteristics and stem diameter. In both experiments, soil moisture decreased over time after irrigation was suspended, affecting gas exchange and photosynthesis. In Experiment 1, only root length showed a significant difference, being greater in PFC (26.28% greater than PF). The stem diameter of the rootstock was similar between treatments, but the stem diameter of the interstock was larger in PFC, and that of the scion cultivar was larger in PC. Soil moisture content decreased with water deficit, being the lowest in PF and the highest in PS. Leaf water potential decreased with water deficit, being the greatest reductions in PC and PS. Stomatal conductance (g_s), transpiration (E) and net photosynthesis (A) were negatively affected by water deficit, with no reestablishment after irrigation. PFS presented the lowest values of g_s , E and A . In Experiment 2, the stem diameter of the rootstock and interstock was greater in MFS, while the stem diameter of the graft was greater in MC (34.16% greater than MF). Soil moisture content decreased progressively, with the lowest value at 19 days after water deficit (22.32%). MFS, MC and MS plants presented the lowest water potential in the morning and at noon. MF maintained the highest water potential at noon (28.06% greater than MFS).

MFC had the highest values of g_s and A , while MFS had the lowest. Water deficit significantly reduced E , with the lowest value in MFS, while MFC presented E 31.68% greater than MFS. When comparing the two experiments, intergrafting did not influence leaf parameters, but water deficit significantly affected physiological parameters. Plants with different grafting combinations responded differently to water stress, highlighting the importance of careful selection of rootstocks and grafts to maximize production under water deficit conditions.

Keywords: Intergrafting ; *Poncirus trifoliata* ; Water potential; Gas exchange.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	13
REVISÃO DE LITERATURA.....	17
A cultura dos citros	17
Exigência edafoclimáticas	19
Clima.....	19
Solo.....	19
Cultivares copa	20
Tangerina ‘Ponkan’.....	20
Tangoreiro ‘Murcott’.....	21
Porta-enxertos na citricultura	22
Interenxertia em citros	26
Estresse hídrico e citricultura	28
Relações hídricas no solo e respostas fisiológicas dos citros	29
Influência do déficit hídrico no vigor das plantas de citros baseado na anatomia dos elementos de vaso	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	33
Material vegetal	33
Sistema de cultivo e condução dos experimentos	33
Experimento 1	34
Experimento 2	34
Obtenção do material vegetal	35
Avaliações	37
Variáveis fisiológicas	37
Estimativa do potencial hídrico da planta (Ψ_F).....	37
Trocias gasosas.....	38
Teor relativo de clorofila – Índice SPAD.....	39
Área foliar, Densidade estomática e índice estomático.....	40
Parâmetros do solo	42
Teor de umidade do solo.....	42
Variáveis Biométricas	43
Características morfométricas do sistema radicular.....	43
Diâmetro caulinar do enxerto, interenxerto e porta-enxerto.....	45
Análise estatística.....	45
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46

Experimento 1	46
Experimento 2	60
CONCLUSÕES	68
Experimento 1	68
Experimento 2	69
REFERÊNCIAS	70

INTRODUÇÃO GERAL

Os citros estão entre as frutas mais produzidas e apreciadas no mundo, isto se deve ao seu elevado valor nutritivo e à sua importância socioeconômica desempenhada na cadeia produtiva (EPAMIG, 2014). O seu cultivo está amplamente difundido por todas as regiões do planeta, sendo mais expressivo em países de clima tropical e subtropical (SARMIENTO, 2015; COELHO et al., 2020). A China se destaca como o maior produtor mundial de citros, devido à sua alta produção de tangerinas, alcançado em 2022 mais de 27 milhões de toneladas (FAO, 2024). O Brasil ocupa a segunda colocação neste ranking, destacando-se como maior produtor mundial de laranja *in natura*, ultrapassando em 2022 a produção de 16,9 milhões de toneladas (FAO, 2024).

Além do lugar de destaque na produção de laranjas, o Brasil também é um grande produtor de tangerinas e seus híbridos, o qual se encontra na quinta colocação do ranking mundial, apresentando uma área colhida em 2022 de 56.357 hectares e uma produção de 1.086.616 toneladas (FAO, 2024). Dentre as principais regiões brasileiras produtoras de tangerinas, destacam-se o estado de São Paulo com uma área colhida em 2023 de aproximadamente 10.032 hectares e uma produção de 323.645 toneladas, seguido do estado de Minas Gerais, que no mesmo ano, colheu 256.395 toneladas em mais de 14,466 mil hectares. Em conjunto os estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul, são responsáveis por mais de 80% da produção e área colhida de tangerinas no Brasil (IBGE, 2024).

Diferentemente dos principais grupos cítricos, os quais pertencem apenas à uma espécie botânica, como a laranjeira doce, por exemplo, o grupo das tangerineiras é composto por várias espécies (FERMINO, 1997). No geral, os seus frutos caracterizam-se por serem facilmente descascados com as mãos. As tangerineiras utilizadas como cultivar copa são categorizadas em diferentes grupos, sendo eles, tangerineiras do grupo comum (*Citrus reticulata* Blanco); tangerineiras do grupo das mexericas ou tangerinas do Mediterrâneo (*C. deliciosa* Ten.); tangerineiras do grupo satsuma (*C. unshiu* Marc.); Tangerineiras do grupo clementina (*C. clementina* Hort. ex Tan.); e os grupos híbridos. Estes híbridos podem ser obtidos através do cruzamento entre diferentes espécies, como no caso das tangerineiras e laranjeiras, dando origem aos tangoreiros; tangerineiras e pomeleiros, dando origem aos tangeleiros; e hibridações mais complexas (EFROM & SOUZA, 2018). Entre os grupos de tangerineiras citadas anteriormente, a cultivar ‘Ponkan’ pertencente ao grupo das tangerineiras comuns e a cultivar ‘Murcott’, híbrido dos tangoreiros, são as mais cultivadas no Brasil, isto em função da melhor adaptação à fatores edafoclimáticos e maior aceitação do consumidor (BELO, 2017).

Originária da Ásia, a tangerineira ‘Ponkan’ (*Citrus reticulata* Blanco), trata-se da principal cultivar plantada atualmente no Brasil, representando cerca de 60% dos plantios dos pomares de tangerineiras. A ‘Ponkan’ é a mais consumida e preferida entre os brasileiros, apresentando boa adaptação em regiões tropicais e subtropicais, onde nas nossas condições alcançam frutos grandes e de excelente qualidade (BASTOS et al., 2014; BELO, 2017).

Já o tangor ‘Murcott’ (*C. sinensis* x *C. reticulata*) é um híbrido obtido através do cruzamento entre a tangerineira ‘Ponkan’ com a laranjeira doce, o qual foi desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, por Charles Murcott Smith em 1920 (AZEVEDO & PIO, 2002). Foi introduzido no Brasil no ano de 1948 pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), vindo a se tornar mais tarde, o segundo mais plantado no país (POMPEU JÚNIOR, 2001).

O cultivo comercial de citros está presente em todos os estados brasileiros, sendo a região Sudeste a de maior destaque, reconhecida como o cinturão citrícola brasileiro, englobando o estado de São Paulo (maior produtor) e Minas Gerais, mais precisamente a região do Triângulo Mineiro. Entretanto, a vasta diversificação agroclimática do país e as suas mais variadas condições particulares de cultivo, que compreende áreas com precipitação média anual elevada à até aquelas com precipitação média anual aquém das necessidades das plantas, implicam em algumas situações que podem comprometer a produção, como por exemplo, o estresse hídrico às plantas (CERQUEIRA, 2004; MATTOS JUNIOR et al., 2005).

Deste modo, o déficit hídrico no solo torna-se uma condição facilmente observada na exploração de diversas culturas, afetando o comportamento e fisiologia das plantas (MARTINS et al., 2008). Este evento leva à redução da assimilação de CO₂ e transpiração, aumento da resistência estomática e conseqüentemente diminuição da taxa fotossintética líquida, resultando em baixo desenvolvimento da cultura (COELHO FILHO et al., 2011). Flexas et al. (2004) afirmam que o déficit hídrico no solo é a principal razão que causa limitação da produtividade agrícola, visto que reduz o processo de fotossíntese realizado pelas plantas. O estresse hídrico aliado à uma condição de demanda evaporativa excessiva, inibe o ganho de carbono fotossintético por meio da restrição da função estomática, afetando o estado hídrico da planta, tendo como efeito a redução no seu desenvolvimento (ZHANG et al. 2018). Em regiões onde a condição de déficit hídrico se faz presente, é necessária a utilização de alguns recursos visando reverter essa situação. Dentre essas práticas temos a seleção e o uso de cultivares de porta-enxerto resistentes ou tolerantes ao déficit hídrico, os quais apresentam sistema radicular vigoroso e com boa capacidade de exploração do perfil do solo e de absorção de água.

A escolha e o uso adequado do porta-enxerto são essenciais para a sustentabilidade da citricultura, sendo este, responsável por influenciar diversas características na cultivar copa enxertada, tais como, vigor, produção, adaptação e resistência à estresses bióticos e abióticos (CASTLE et al., 2015). Embora menos visíveis, ocorrem também influências da cultivar copa sobre o porta-enxerto, especialmente quanto ao crescimento do sistema radicular e relacionam-se com a tolerância ao frio, à seca, pragas e doenças (POMPEU JÚNIOR, 2005). Logo, a ampla gama de porta-enxertos disponíveis para o cultivo de citros, proporciona vantagens inquestionáveis para o produtor, principalmente se houver a escolha correta da combinação com a cultivar copa, de acordo com o planejamento e a finalidade da produção.

As principais características de um bom porta-enxerto são: capacidade de adaptar às condições edafoclimáticas do local de implantação do pomar, resistência às principais pragas e doenças incidentes na região de cultivo, sistema radicular vigoroso, compatibilidade com as principais cultivares copa, eficiência na absorção de água e nutrientes e indução à uma boa eficiência produtiva (CARLOS et al., 1997; HARTMANN et al., 2011). O porta-enxerto mais utilizado para a produção de mudas de citros no Brasil é o limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck) ou também popularmente chamado de ‘Limão rosa’, ‘Limão capeta’ ou ‘Laranjinha capeta’, a depender da região, devido à sua compatibilidade com diferentes tipos de copa, precocidade de produção, resistência a seca e elevado vigor (POMPEU JÚNIOR, 1980). No entanto, este limoeiro demonstra algumas debilidades, como a susceptibilidade às doenças, declínio e morte súbita, o que desencadeou o uso de outros porta-enxertos, como o citrumelo ‘Swingle’ [(*C. paradisi* Macfad. × *Poncirus trifoliata* (L.) Raf.)] (POMPEU JÚNIOR, 1980, 2014).

As combinações de cultivares copa com cultivares de porta-enxertos afetam a arquitetura da copa e a distribuição do sistema radicular e podem induzir a tolerância à seca nas plantas devido à eficiência na absorção pelas raízes de água e nutrientes minerais, resultando em maior rendimento da cultura (SANTOS et al., 2019). Quando essa interação é positiva, o porta-enxerto pode induzir mudanças que favorecem o crescimento e a produção precoce, além de conferir tolerância ao déficit hídrico do solo (SCHWARZ et al., 2010). A seleção do porta-enxerto atua como uma ferramenta importante para adaptar as culturas a condições ambientais adversas, ou a estresses bióticos e abióticos (ALFARO et al., 2023).

A citricultura no Brasil é predominantemente sem irrigação, para isso é desejável que se utilize combinações cultivar copa/porta-enxerto que mostrem, entre diversas características de interesse agrônomo, a tolerância à seca, em vista da ocorrência de períodos de veranicos em várias regiões citrícolas. No entanto, são utilizadas poucas combinações entre porta-enxertos e cultivares copa, não havendo diversificação de cultivares, tornando esta atividade

agrícola vulnerável à ocorrência de algumas adversidades (CERQUEIRA et al., 2004; SCHINOR et al., 2006). A utilização de porta-enxertos vigorosos e resistentes ou tolerantes ao déficit hídrico é comum entre os citricultores, uma vez que buscam precocidade na produção e qualidade dos frutos. Porém, estes porta-enxertos induzem o aumento expressivo no vigor da cultivar copa, formando plantas de grande porte e onerando ainda mais os custos de produção relacionados aos tratos culturais dos pomares, como colheita e podas (SCHÄFER et al. 2001; GONZATTO et al. 2018).

O uso de uma outra técnica alternativamente à enxertia tradicional, permite com que haja a formação de plantas de tamanho intermediário, compatibilizando características do porta-enxerto e do interenxerto, além de superar incompatibilidades que possam vir a ter, entre a cultivar copa e o porta-enxerto (BARREIROS, 2021). A interenxertia consiste na utilização de um fragmento de ramo entre o porta-enxerto e o enxerto, também chamado de filtro ou interenxerto, que pode ser obtido através de duas enxertias sequenciais (HARTMANN et al., 1990). O uso desta técnica não é muito comum na citricultura, existindo poucos exemplos da sua aplicação, porém, se utilizada, pode reduzir o tamanho das plantas, permitindo o uso de um porta-enxerto vigoroso e rústico, desde que o interenxerto tenha características ananicas, como é o caso do trifoliato 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* (T. Ito) Swing.). Esta mesma técnica, pode ser utilizada também, com o intuito de superar a incompatibilidade, como no caso da utilização da laranjeira 'Valência' como interenxerto entre a laranjeira 'Pera' e o citrumeleiro 'Swingle' (DE CARVALHO et al., 2019).

As interações entre o porta-enxerto, interenxerto e a cultivar copa com as variáveis morfológicas, anatômicas e fisiológicas são volúveis e decorrentes da interação dos materiais genéticos utilizados. Estudos anatômicos relacionados à estas interações, são relacionados prioritariamente ao sistema vascular, sendo responsáveis pelo melhor entendimento das diversas alterações que ocorrem nas plantas. A mudança na morfologia e distribuição do xilema das copas enxertadas, no crescimento vegetativo, na dinâmica das relações hídricas e de trocas gasosas do dossel e modificações na condutividade hidráulica da planta, são exemplos de características influenciadas por estas interações. (RODRIGUÉS-GAMIR et al., 2010b). Diante desta exposição, propomos neste trabalho avaliar e caracterizar os efeitos da interenxertia do genótipo ananicante 'Flying Dragon' na anatomia e fisiologia da tangerineira 'Ponkan' e do tangoreiro 'Murcott' enxertados sobre diferentes porta-enxertos e sob condição de déficit hídrico no solo.

REVISÃO DE LITERATURA

A cultura dos citros

Originário do Sul e Sudeste da Ásia, em regiões de zonas tropicais úmidas, que compreende desde a vertente meridional do Himalaia até a China meridional, Indochina, Malásia, Indonésia e Tailândia, os citros englobam diversos gêneros, entre eles, *Citrus*, *Fortunella*, *Microcitrus*, *Clymenia*, *Eremocitrus* e *Poncirus* (REUTHER et al., 1967; AGUSTÍ, 2000). A busca pela diversidade genética em programas de melhoramento genético, tem feito com que alguns gêneros se destaquem na atualidade, como é o caso do *Microcitrus* e do *Eremocitrus*, que vem sendo alvo de muitas pesquisas, visando o desenvolvimento de variedades mais resistentes à pragas e doenças e também a demandas do mercado, como frutas mais saborosas e nutritivas, resultando em avanços significativos na produção de citros (STRUZZIATO et al. 2020).

Os citros são plantados e cultivados em regiões de clima tropical e subtropical de mais de 140 países, dentre os quais a China, o Brasil e a União Europeia, figuram como maiores produtores. Em 2022, a produção de citros da China alcançou aproximadamente 48,7 milhões de toneladas, seguida pelo Brasil com aproximadamente 19,7 milhões de toneladas e União Europeia com aproximadamente 10,4 milhões de toneladas produzidas (FAO, 2024).

A introdução dos citros no Brasil ocorreu por meio das primeiras expedições colonizadoras, chegando através dos portugueses no século XVI até o continente sul americano (MATTOS JÚNIOR et al., 2005). Nos dias atuais, a citricultura se encontra dentre as principais atividades do setor agrícola brasileiro, se destacando principalmente devido à sua relevância no cenário mundial, ao seu grande potencial de produção e à sua contribuição para o desenvolvimento, gerando empregos e elevando ainda mais o agronegócio do país.

Segundo a FAO (2024), o Brasil é o maior produtor mundial de laranja, com produção de aproximadamente 16,9 milhões de toneladas em 2022, e maior exportador de suco concentrado de laranja. Quanto à produção de tangerinas o Brasil ocupa a quinta colocação, com aproximadamente 1,08 milhões de toneladas produzidas em 2022. A maior parte do que é produzido de citros no país vem do cinturão citrícola, que engloba as regiões de São Paulo (maior produtor brasileiro) e Triângulo e Sudoeste Mineiro (segundo maior produtor brasileiro).

Dentre os gêneros de citros, os que apresentam maior destaque econômico devido à sua importância agronômica, são os *Citrus*, *Poncirus* e *Fortunella*, pertencentes à família Rutaceae. O gênero *Citrus* é o que detém a maioria das espécies cultivadas, sendo, portanto, o de maior

relevância para o panorama da citricultura nacional e mundial. Entre as principais cultivares deste gênero encontram-se, as laranjas (*Citrus sinensis*), tangerinas (*C. reticulata*, *C. clementina*, *C. unshiu*, *C. deliciosa*, entre outras), limões (*C. limon*), limas ácidas e doces, e outras espécies (LOPES et al., 2011).

As plantas cítricas cultivadas, em geral, caracterizam-se por não apresentarem hábito caducifólio, pois há uma reposição contínua de folhas, as quais podem permanecer na planta por mais de dois anos, com exceção dos trifoliatas, sendo o único cítrico verdadeiro com este comportamento (EFROM & SOUZA, 2018). São consideradas tipicamente mesofíticas, no entanto, as folhas podem ter características xeromórficas, como maior rigidez, nenhuma atividade estomática na parte adaxial, apresentando camada de cera, e o murchamento das folhas maduras só acontece em potenciais de água considerados críticos (BARBOZA JÚNIOR, 2007). Além do mais, são plantas que demonstram boa capacidade na regulação da perda de água devido às suas características morfológicas, como, a presença de cutícula cerosa espessa na superfície das folhas e frutos, arquitetura da copa, a disposição e o tamanho das folhas, o que reduz a área superficial exposta e o controle estomático, tornando-as eficientes no uso da água e na tolerância ao déficit hídrico, quando comparadas à outras culturas (PISSINATO et al., 2010; BRITO, 2010; CUNHA SOBRINHO et al. 2013).

Os frutos são ricos em vitamina C, além de possuírem vitaminas do complexo A e B, apresentam ainda altas concentrações de sais minerais, principalmente cálcio, potássio, sódio, fósforo e ferro, e compostos bioativos provenientes do metabolismo celular, chamados de flavonoides e cumarinas, os quais apresentam propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e biocidas (MATTOS JÚNIOR et al., 2005; EFROM & SOUZA, 2018). São utilizados principalmente para o consumo *in natura*, no entanto, cerca de 50 a 55% da produção são para o processamento pela indústria, na fabricação de sucos em diferentes níveis de concentração, sendo este o principal produto obtido através da fruta. Existem ainda outros produtos provenientes das frutas cítricas, embora menos expressivos, como albedo em calda, albedo cristalizado, pectina, geleias, xaropes, licores, etc. Já para a indústria farmacêutica, as frutas cítricas são utilizadas na produção de matéria prima para a fabricação de medicamentos, ácido cítrico e óleos essenciais (AZEVEDO, 2003).

Exigência edafoclimáticas

Clima

O clima exerce grande influência sobre o vigor e a longevidade das plantas cítricas, além da qualidade e a quantidade de frutos produzidos. Os citros se desenvolvem bem em regiões de clima ameno, com regime pluviométrico entre 900 mm a 1200 mm anuais, bem distribuídos durante o ano, podendo ser feita a suplementação dos déficits com irrigação (DONATO et al., 2007). Essa informação é importante na hora da escolha do porta-enxerto adequado para a região de plantio, uma vez que existem porta-enxertos que são tolerantes ao déficit hídrico, assim como existem outros que apresentam média a baixa tolerância ao encharcamento, como é o caso dos trifoliatas, do limoeiro ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* Ten. & Pasq.) e da laranjeira ‘Azeda’ (*C. aurantium* L.) (MONTENEGRO, 1980; GONZATTO et al., 2018).

Quanto à temperatura, a mesma tem efeito acentuado sobre a quantidade e qualidade do fruto. Frutos produzidos em clima mais frio apresentam coloração da casca e da polpa mais acentuados, teores mais elevados de açúcares e ácidos, realçando ainda mais o sabor. Já os frutos produzidos em clima mais quente, têm menor coloração da casca e da polpa, com teores mais baixos de açúcares e de acidez, resultando em frutos mais doces, porém, de paladar menos desenvolvido. Portanto, temperaturas na faixa entre 23 a 32 °C são ideais para o desenvolvimento da cultura, onde apresenta aumento progressivo no metabolismo atingindo o ápice da taxa de crescimento neste intervalo (MONTENEGRO, 1980; AZEVÊDO, 2003).

Outro fator importante é o vento, o qual influi diretamente no microclima dos pomares, atuando no transporte de calor, vapor de água e propagação do CO₂ entre as plantas. Este fato interfere na taxa de assimilação e transpiração das plantas, estando, portanto, envolvido diretamente no desenvolvimento das plantas cítricas, embora um pouco mais discreto que os outros fatores. Entretanto, o vento pode ser prejudicial, pois está envolvido na disseminação de doenças e pragas entre pomares, além de causar injúrias mecânicas nos frutos e nas folhas, sendo porta de entrada para patógenos. Sendo assim, a utilização de quebra-ventos é de fundamental relevância para contornar essa situação (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2017).

Solo

As plantas cítricas, embora apresente determinadas exigências com relação aos solos, podem ser cultivadas nos mais variados tipos, entretanto, desenvolvem-se melhor naqueles que apresentam proporção equilibrada de areia e argila (textura média), garantindo boa aeração e

retenção de água, boa drenagem e elevada capacidade de troca de cátions (CTC). Além do mais, adaptam-se muito bem em solos arenosos e argilosos, onde o uso de diferentes porta-enxertos auxilia nesta adaptação (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2017).

A profundidade mínima efetiva do solo deve ser de 1,0 a 1,2 m, estando atento se há a ocorrência de camadas com impedimento físico que prejudicam o crescimento do sistema radicular e a drenagem, favorecendo o desenvolvimento de doenças de solo e dificultando a sustentação das plantas (AZEVEDO, 2003). Um aspecto que deve ser destacado é a baixa tolerância dos citros a solos salinos e encharcados, no entanto, a utilização de diferentes combinações entre porta-enxerto e cultivar copa fazem com que essa sensibilidade seja variada. Outro fator importante, é o pH do solo, o qual influencia a disponibilidade de nutrientes às plantas, sendo a faixa ideal para o melhor desenvolvimento das plantas cítricas, entre 6,0 e 7,0 (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2017).

Cultivares copa

Tangerina ‘Ponkan’

Originária da Ásia, a tangerina ‘Ponkan’ (*C. reticulata* Blanco) é a mais popular e preferida entre os brasileiros, apresentando boa adaptação em regiões tropicais e subtropicais (BELO, 2017). No Brasil, representa cerca de 60% dos plantios dos pomares de tangerinas, onde nas nossas condições climáticas alcançam frutos grandes e de excelente qualidade (BASTOS et al., 2014).

São árvores de porte médio, comumente vigorosas, com hábito de crescimento ereto pronunciado, bastante produtivas, no entanto, com tendência a apresentarem alternância de produção. Os ramos são tenros com espinhos pequenos, pouco numerosos ou ausentes, as folhas são lanceoladas com aroma de tangerina quando esmagadas, devido ao elevado teor de óleo essencial e as flores são pequenas (BASTOS et al., 2014; BELO, 2017).

Os frutos são grandes, com massa média de 138 g, de maturação precoce à meia-estação (abril a junho), com formato globoso a oblato, apresentando de 9 a 13 gomos que são facilmente separáveis, polpa brilhante de coloração salmão-alaranjado, rica em suco, de sabor doce, o que a torna bastante apreciada para o consumo *in natura* (ESPOSTI et al., 2008). A casca é solta de coloração alaranjada forte, com a superfície lisa e vesículas salientes de óleo essencial (BELO, 2017). No geral, o seu suco corresponde a 43% da massa do fruto, com teores médios de sólidos solúveis em torno de 10,8%, 0,85% de acidez e 12,7 de ratio (razão sólidos solúveis/acidez).

Sua comercialização destina-se exclusivamente para o mercado *in natura*, sendo, portanto, devido às características internas e externas de seus frutos, que constituem fatores de grande relevância na qualidade organoléptica dos mesmos (FIGUEIREDO, 1991; BELO, 2017).

No entanto, apresentam algumas dificuldades inerentes ao seu cultivo, como a forte tendência a alternância de produção, justamente pelo fato de terem elevado vigor e alta produtividade e também a susceptibilidade à mancha-marrom-de-alternaria, causada pelo fungo *Alternaria alternata* f.sp. citri (BASTOS et al., 2014).

Tangoreiro ‘Murcott’

O tangor ‘Murcott’ [(*C. sinensis* (L.) Osbeck x *C. reticulata* Blanco)] é um híbrido obtido através do cruzamento entre a tangerineira ‘Ponkan’ com a laranja doce (*C. sinensis* (L.) Osb.), desenvolvido no Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, por Charles Murcott Smith em 1920 (AZEVEDO & PIO, 2002). Foi introduzido no Brasil no ano de 1948 pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), vindo a se tornar mais tarde, o segundo mais plantado no país (POMPEU JÚNIOR, 2001).

São árvores de porte ereto com tendência a desenvolvimento vertical nos ramos, de médio vigor e copa arredonda apresentando folhas lanceoladas, de tamanho pequeno a médio. Os frutos são firmes, de tamanho médio a grande com peso variando entre 130 a 200 g, possuem grande número de sementes, com formato achatado nos polos, bem típico das tangerinas, possui casca de coloração alaranjada com presença de vesículas de óleo, fina e que é aderente à polpa, sendo mais difícil de ser descascada, devido receber metade dos genes da laranja. A polpa é de coloração alaranjada intensa, possuindo de 11 a 12 gomos por fruto e bom rendimento de suco, o qual atende às características organolépticas de sólidos solúveis e acidez (FIGUEIREDO, 1991; AMARO & CASER, 2003; DE OLIVEIRA et al., 2017).

As plantas tendem a ter uma carga elevada de frutos o que potencializa a ocorrência da alternância de produção, para isso, é necessário a realização com frequência de tratamentos culturais como poda e desbastes de frutos a fim de atenuar este evento (FIGUEIREDO, 1991). Além do mais, esse excesso de pegamento de frutos pode levar à ocorrência de um outro episódio, denominado de colapso da Murcott, no qual as plantas adultas morrem após anos sucessivos de alta produção, devido a redução acentuada de nutrientes, como nitrogênio e potássio na biomassa, e também a distúrbios fisiológicos que estas sofrem em função da alta carga de frutos no ciclo anterior (STEWART et al., 1968; DE OLIVEIRA et al., 2017).

A produção de tangor ‘Murcott’ é destinada tanto para o mercado interno quanto para o mercado externo, sendo seu consumo preferencialmente na forma *in natura*. A colheita dos frutos ocorre geralmente a partir do mês de agosto, variando com o clima de cada região, caracterizando-a como uma cultivar tardia, onde os mesmos são fornecidos na entressafra, tornando-se uma boa estratégia de mercado para atingir preços mais favoráveis (AMARO & CASER, 2003; BORGES & PIO, 2003). No entanto, é uma fruta menos competitiva em mercados mais exigentes, devido às suas características como, elevada quantidade de sementes e maior dificuldade em ser descascada (BORGES & PIO, 2003).

Com relação à parte fitossanitária, esta cultivar é altamente susceptível à mancha-marrom-de-alternaria e à xiloporose causada por variantes do viróide HSVd (Hop stunt viroid) ou viróide do nanismo do lúpulo, sendo também moderadamente susceptível ao cancro cítrico, doença causada pela bactéria *Xanthomonas citri subsp. citri*.

Vale ressaltar que durante o processo de propagação da cultivar Murcott, deve-se ter atenção quanto à escolha das combinações de porta-enxertos utilizadas, pois existem alguns materiais incompatíveis ocasionando o baixo pegamento da enxertia, como por exemplo, os trifoliatas e seus híbridos, citrangeiros e citrumeleiros (OLIVEIRA et al., 2008).

Porta-enxertos na citricultura

Até a metade do século XIX, a propagação das plantas na citricultura mundial era realizada utilizando-se pés francos, ou seja, o plantio era feito através de sementes. No entanto, surgiram alguns problemas ao longo do caminho que afetavam diretamente a produção, como o surgimento de doenças, mais precisamente ataque de *Phytophthora* sp., a variabilidade genética das plantas e o longo período juvenil (CARLOS et al., 1997).

Atualmente, tratando-se da produção de mudas de citros, as mesmas são formadas por meio da técnica da enxertia, sendo este método o mais utilizado em todo o mundo. Basicamente, tem por finalidade a junção de tecido vegetal de pelo menos duas plantas diferentes, unindo o porta-enxerto, o qual contribui com o sistema radicular e o enxerto ou cultivar copa, que posteriormente será responsável pela produção, resultando na formação de uma única planta (ANDRADE & MARTINS, 2003). Entretanto, este é um método que é passível da ocorrência de incompatibilidade entre as partes, podendo gerar plantas mal formadas e improdutivas (FACHINELLO et al., 2005).

Os porta-enxertos podem ser produzidos a partir de sementes, pelo método da estaquia ou da micropropagação, desde que seja feito todo o processo em casas de vegetação ou viveiros

telados, a fim de minimizar a ocorrência de alguma adversidade na sua produção. No Brasil, a propagação de porta-enxertos comerciais se dá exclusivamente a partir de sementes, salvo alguns casos excepcionais em que são utilizados os métodos da estaquia e micropropagação (DE OLIVERIA et al., 2008).

A escolha adequada do porta-enxerto é fator preponderante para o sucesso da citricultura e varia de acordo com a finalidade da produção, clima da região e características agronômicas do local de implantação do pomar, como solo, presença de pragas e doenças, entre outras. O porta-enxerto é responsável por influenciar diversas características relacionadas à copa, como, resposta a estresses bióticos e abióticos, produtividade, resistência a doenças, tolerância ao déficit hídrico e qualidade dos frutos produzidos (CASTLE et al., 1992).

Portanto, é desejável que um porta-enxerto tenha sistema radicular vigoroso com tolerância/resistência a pragas e doenças, eficiente na absorção de água e nutrientes do solo, apresente compatibilidade com a cultivar copa escolhida, adapte-se às condições adversas de clima e ambiente e induza altos rendimentos de produção com boa qualidade de frutos (SCARPARE FILHO et al., 2000; HARTMANN et al., 2011). As interações entre a cultivar copa e o porta-enxerto são variáveis, podendo afetar diretamente a fisiologia, morfologia e anatomia das plantas.

No início do século XX, o porta-enxerto mais utilizado no Brasil era predominantemente a laranjeira ‘Caipira’ [*C. sinensis* (L.) Osbeck], no entanto, devido à sua susceptibilidade a gomose causada por *Phytophthora* spp. e também à sua baixa resistência à seca, levaram à sua substituição por outro porta-enxerto, a laranja azeda (*C. aurantium* L.). Na década de 40, outro evento prejudicou a citricultura brasileira, desta vez, um surto do vírus causador da tristeza dos citros, que foi rapidamente disseminado pelo pulgão preto (*Toxoptera citricidus*) em 1937, ano em que foi introduzido no país, levando a morte de plantas cítricas enxertadas sobre a laranja ‘Azeda’ (DE OLIVEIRA et al., 2008).

Assim, o limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck) passou a ser o porta-enxerto mais utilizado no Brasil, chegando a alcançar em alguns anos 99% dos plantios realizados no país. Isto se deve muito à sua rusticidade, tolerância à seca, elevado vigor, boa compatibilidade com diferentes tipos de cultivares copa, indução de precocidade da produção e alto rendimento de frutos (POMPEU JÚNIOR, 2005; CARVALHO et al., 2019). No entanto, devido a questões fitossanitárias que vieram a ocorrer na década de 70, com o surgimento do declínio dos citros que dizimou milhões de plantas cítricas enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’, e em 2001, com a morte súbita dos citros, que ocasionou a perda de milhões de plantas de citros enxertadas sobre ‘Cravo’, começou-se a observar nova diversificação no uso dos porta-enxertos. Fazendo

com que o citrumeleiro ‘Swingle’ (*C. paradisi* x *Poncirus trifoliata*) nas últimas décadas tivesse um aumento expressivo na sua utilização (DE OLIVEIRA et al., 2008; CARVALHO et al., 2019).

No estado de São Paulo, desde o ano de 2015, o porta-enxerto que vem sendo mais utilizado para a produção de mudas cítricas é o citrumeleiro ‘Swingle’, o qual em 2016, chegou a alcançar 50% de todas as mudas produzidas em viveiros do estado, superando o porta-enxerto de limoeiro ‘Cravo’ com aproximadamente 33% das mudas enxertadas sobre ele (CARVALHO et al., 2019).

O citrumeleiro ‘Swingle’ é um porta-enxerto de vigor médio e caracteriza-se por ser resistente/tolerante à alguns problemas fitossanitários, como a morte súbita dos citros (MSC), gomose e nematoide dos citros (*Tylenchulus semipenetrans*), além de ser tolerante a baixas temperaturas, geadas e ao déficit hídrico (RODRIGUES et al., 2010; POMPEU JUNIOR; BLUMER, 2014). As cultivares copa enxertadas sobre ele apresentam frutos de melhor qualidade, contendo teores elevados de açúcares, no entanto, a maturação ocorre mais tardiamente se comparado ao limoeiro ‘Cravo’. Além do mais, existe incompatibilidade com determinadas cultivares copa, como por exemplo, laranja ‘Pêra’, algumas tangerineiras e limoeiros, mas também, é compatível com diversas outras cultivares comerciais, como ‘Bahia’, ‘Ponkan’, ‘Valência’, ‘Hamlin’ e ‘Natal’ (RODRIGUES et al., 2010).

Contudo, nos dias atuais, tem sido cada vez mais utilizado na citricultura o adensamento dos plantios, visando otimizar a área e o uso dos recursos ambientais, aumentando o rendimento de frutos do pomar sem que haja perdas na qualidade dos mesmos, além de reduzir os custos de produção devido a menores gastos com mão de obra para realização de alguns tratamentos culturais, como podas e colheitas. No cinturão citrícola, os pomares já vêm apresentando incrementos nas densidades de plantio, os quais na década de 80 eram plantados uma média de 342 plantas por hectare, e hoje já estão sendo plantados até 650 plantas por hectare (FUNDECITRUS, 2019). Para isso, são vários os fatores que devem ser considerados no momento do planejamento e da escolha da densidade de plantio a ser utilizada, os quais são, principalmente, o porte e o vigor da cultivar copa e do porta-enxerto (DONADIO & STUCHI, 2001; TEÓFILO SOBRINHO, 2012).

Portanto, o adensamento dos pomares tem sido alcançado através da utilização de porta-enxertos ananizantes ou semi-ananizantes, os quais têm por finalidade, reduzir o porte e o vigor da cultivar copa, garantindo assim, menores espaçamentos entre as plantas sem que haja perdas na eficiência produtiva (HAYAT et al., 2022). Porta-enxertos verdadeiramente ananizantes ou semi-ananizantes são aqueles que promovem a redução da cultivar copa em pelo menos 40%

em relação ao tamanho de combinações padrão, em geral o porte é inferior a 2,5 m de altura, independentemente da influência do ambiente, patógenos ou qualquer outro fator (SILVA, 2013; CARVALHO et al., 2016). Dentre os porta-enxertos com características ananizantes, o trifoliateiro ‘Flying Dragon’ (*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* (T. Ito) Swing.) é o que mais tem sido plantado, pois proporciona tamanho reduzido das árvores adultas, permitindo maior número de plantas por área sem afetar a produtividade (STUCHI et al., 2012). Pompeu Junior (2005) relatou em seu trabalho que plantas adultas de laranjeira doce enxertadas sobre ‘Flying Dragon’ apresentaram altura inferior a 2,5 m sob diversas condições de cultivo, clima e solo. Existem outros porta-enxertos que induzem o nanismo ou semi-nanismo, como o IAC 3026, IAC 3128, IAC 1697, citrumelo ‘Swingle’ tetraploide (*Citrus paradisi* Macrad × *Poncirus trifoliata* [L.] Raf) e o citrandarim ‘San Diego’ [*C. sunki* x *P. trifoliata* (L.) Raf.], todos são materiais que proporcionam uma boa produção e qualidade de frutos (SILVA, 2013; CARVALHO et al., 2016).

O trifoliateiro ‘Flying Dragon’ caracteriza-se por ser uma seleção de mutação ocorrida no Japão, o qual difere dos demais trifoliatas através do fenótipo do seu caule, sendo os ramos tortuosos e os espinhos curvos. Estas características morfológicas são utilizadas como marcadores associados à sua capacidade ananizante, devido ao efeito de ligação gênica ou pleiotropia, garantindo, portanto, à identidade destas plantas. São plantas que se adaptam muito bem a solos argilosos, apresentando folhas trifolioladas, caducas e de pecíolo alado (CHENG; ROOSE, 1995). Os frutos da cultivar copa enxertada sobre ele apresentam alta qualidade devido ao elevado teor de sólidos solúveis acumulados. Além disto, é resistente à tristeza dos citros, aos nematoides *Tylenchulus semipenetrans* e *Pratylenchus jaehni* e à gomose, além de tolerar à morte súbita dos citros (CHENG & ROOSE, 1995; POMPEU JÚNIOR, 2005; CALZAVARA et al., 2007).

Gonzatto et al. (2011) observaram que a utilização do porta-enxerto ‘Flying Dragon’ incrementou o acúmulo de sólidos solúveis nos frutos da tangerineira ‘Oneco’, tornando a sua maturação mais tardia, em relação às plantas enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’ e citrumeleiro ‘Swingle’, no entanto, o calibre dos frutos foi menor. Estudos realizados com tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre o trifoliateiro ‘Flying Dragon’, demonstraram que houve uma redução de aproximadamente 65% do volume da copa em comparação com as plantas enxertadas sobre limoeiro ‘Cravo’, além de promover maior eficiência produtiva, sendo, portanto, recomendado para pomares de alta densidade (GONZATTO et al., 2011; SILVA et al., 2013).

Martínez-Alcántara et al. (2013) evidenciaram mecanismos de ananizamento do trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’ que pode estar associado à uma menor densidade de elementos de vaso de xilema na região da enxertia, causando uma redução na condutividade hidráulica na mesma e também no porta-enxerto, em comparação com os trifoliatoeiros comuns. Além do mais, pode haver restrição na translocação de carboidratos da parte aérea para as raízes, na região da enxertia, gerando redução no crescimento do sistema radicular. Yonemoto et al. (2004) observaram resultados semelhantes em seu trabalho, onde relataram redução no fluxo de seiva da copa das plantas enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’ em comparação com as plantas enxertadas sobre trifoliatoeiro comum.

Contudo, diante deste cenário, todos os porta-enxertos que conferem a característica ananizante a cultivar copa, são trifoliatoeiros ou híbridos, sendo observado diversos registros de incompatibilidade com copas como a laranjeira ‘Pêra’ e o tangoreiro ‘Murcott’. Além de possuírem um sistema radicular frágil e pouco vigoroso, impossibilitando a exploração de camadas mais profundas do perfil do solo em busca de água e nutrientes (POMPEU JÚNIOR, 2001). Desta forma, a implantação de pomares com porta-enxertos ananizantes exigem maiores cuidados no que se refere à disponibilidade hídrica, principalmente em regiões onde o histórico de déficit hídrico está presente.

Interenxertia em citros

A interenxertia consiste na utilização de um fragmento de ramo, também chamado de filtro ou interenxerto, entre o porta-enxerto e a cultivar copa, ou seja, é uma técnica que permite interpor duas plantas geneticamente incompatíveis por meio de um terceiro genótipo que seja compatível com ambos. O resultado desta técnica é a formação de uma planta com três materiais genéticos diferentes (porta-enxerto, interenxerto e enxerto) obtida por meio de duas enxertias sequenciais. O interenxerto pode influenciar nas características e no desenvolvimento tanto do porta-enxerto quanto da cultivar copa (HARTMANN et al., 1990; FACHINELLO et al., 2005).

O uso dos interenxertos na citricultura é importante nos casos em que há incompatibilidade entre o porta-enxerto e o enxerto e quando se deseja reduzir o vigor e o porte da copa das plantas. Tal prática é tecnicamente viável e utilizada principalmente em pessegueiro (*Prunus persica*) (REIGHARD, 1995), macieira (*Malus domestica*) (RICHARDS et al., 1986) e ameixeira (*Prunus domestica* L.) (GRAZYB et al., 1994). Um exemplo de incompatibilidade nos citros que é contornado pelo uso da interenxertia, é a laranjeira ‘Valência’ como interenxerto entre a laranjeira ‘Pera’ e o citrumeleiro ‘Swingle’ (CARVALHO et al., 2019).

Além do uso de genótipos com características ananicas como porta-enxertos, os mesmos também podem ser utilizados na interenxertia, como é o caso na cultura da macieira, em pomares de alta densidade, onde é utilizado o porta-enxerto ‘M.9’ (East Malling) como interenxerto sobre o porta-enxerto ‘Marubakaido’, este por sua vez muito vigoroso e rústico (FIORAVANÇO, 2015; PASA et al., 2016). A realização da interenxertia entre estes materiais, permite que a planta interenxertada compatibilize as principais características de ambos os porta-enxertos, como o nanismo, a precocidade e a produção de frutos de melhor qualidade, a resistência a determinadas pragas e doenças, e o desenvolvimento de um sistema radicular mais vigoroso e profundo, provenientes do ‘Marubakaido’ (GRELLMANN, 1988; TSUNETTA & HAUAGGE, 1988).

A presença do interenxerto na planta, interfere em uma série de características e nas atividades metabólicas da mesma, como na absorção e translocação de água e nutrientes, na produção de fotoassimilados, na produção de fitohormônios e outras substâncias. Estas alterações por sua vez, têm efeito direto sobre o desenvolvimento das plantas (SCARPARE FILHO et al., 2000; HARTMANN et al., 2011; GILL & SINGH, 2014). A interenxertia além de influenciar no comportamento das plantas, pode induzir resistência ou tolerância à determinadas condições adversas e à estresses bióticos ou abióticos. Camara et al. (2003) evidenciaram em seu estudo, que a utilização de interenxertos podem aumentar a resistência das plantas cítricas à salinidade, uma vez que há redução na translocação de sódio e de cloro do sistema radicular para a copa. Em outro estudo, Gimeno et al. (2009) concluíram que as plantas cítricas interenxertadas são mais tolerantes à salinidade do que as plantas não interenxertadas, e que as plantas interenxertadas em laranjeira ‘Valência’ apresentavam menores reduções no crescimento foliar induzidas pela salinidade em comparação com as plantas interenxertadas com laranjeira ‘Castellano’.

Yonemoto et al. (2004) ao estudarem a tangerineira ‘Shirakawa Satsuma’ (*C. unshiu*) interenxertada com ‘Flying Dragon’ e enxertada em *Poncirus trifoliata*, relataram que o fluxo de seiva nos ramos da copa foi intermediário em relação às plantas somente enxertadas em ‘Flying Dragon’ ou *Poncirus trifoliata*. Os autores concluíram que as plantas enxertadas somente em ‘Flying Dragon’ apresentavam fluxos de seiva ainda mais reduzidos do que as plantas enxertadas em *Poncirus trifoliata*, resultando no controle do tamanho da planta, o que evidencia uma possível explicação para a característica ananica deste porta-enxerto. Além do mais, os valores de sólidos solúveis nos frutos das plantas interenxertadas ou somente enxertadas com ‘Flying Dragon’ também foram intermediários em relação às plantas enxertadas somente com *Poncirus trifoliata*.

Além dos efeitos observados da interenxertia na redução do porte das plantas e na superação da incompatibilidade entre os genótipos, estudos tem demonstrado também a influência na fisiologia das plantas. Segundo Kamiloglu e Yesiloglu (2014), foi observado à exceção da redução do porte das árvores, um incremento na assimilação líquida de CO₂ nas plantas de laranjeira ‘Navelina’ interenxertada com ‘Flying Dragon’ e enxertada em laranjeira ‘Azeda’.

Wang et al. (2020) utilizaram como cultivar copa a tangerineira ‘Yuanxiaochun’ interenxertada em cinco cultivares diferentes de tangerineiras, sendo utilizada ‘Ponkan’, ‘Shiranuhi’, ‘Harumi’, ‘Tarocco’ e ‘Kumquat’, enxertadas sobre *P. trifoliata*. Eles relataram diferentes efeitos dos interenxertos sobre o crescimento, desenvolvimento e as características fotossintéticas das plantas, onde foi possível observar que, quando ‘Kumquat’ (*Fortunella margarita* Lour. Swingle) e ‘Ponkan’ foram usados como interenxertos, as folhas de ‘Yuanxiaochun’ tiveram maior taxa de utilização de luz e assimilação líquida de CO₂, maiores valores de condutância e densidade estomática, além de promover o crescimento vegetativo mais rápido do enxerto e melhores características fotossintéticas.

Em geral, é de suma importância conhecer os efeitos característicos que cada material genético, seja como porta-enxerto e/ou interenxerto, influenciará nas plantas, desde alterações morfológicas e fisiológicas, até modificações a nível anatômico.

Estresse hídrico e citricultura

Existem diversos fatores ambientais que são limitantes à produção vegetal, dentre eles, o déficit hídrico se destaca como o principal, pois, é um acontecimento presente em diversas regiões agricultáveis não só do Brasil, mas também em outras partes do mundo, afetando as relações hídricas das plantas, promovendo alterações no seu metabolismo e prejudicando o seu crescimento, desenvolvimento e produção (NOGUEIRA et al., 2001).

Os índices fisiológicos, como a taxa de assimilação de CO₂, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e transpiração, são afetados por fatores ambientais, como temperatura, luz, concentração de CO₂ e disponibilidade de nutrientes e água (TAIZ & ZEIGER, 2009). Sendo assim, pode-se conhecer através de estudos das interações destes parâmetros com cada fator ambiental, destacando-se o estado hídrico da planta, a eficiência do crescimento e a capacidade de adaptação às condições ambientais de uma espécie ou variedade (BRITO et al., 2012).

Ressalta-se que, para um bom desenvolvimento e obtenção de altos níveis de produção e qualidade, as plantas cítricas necessitam de um regime pluviométrico entre 900 a 1300 mm anuais, bem distribuídos (ORTOLANI et al., 1991). Para se ter uma ideia da importância do regime hídrico para os citros, uma planta adulta de lima ácida ‘Tahiti’ pode evapotranspirar até 150 L de água por dia no verão, e aproximadamente 70 L de água por dia no inverno, lembrando que estes valores são referência para as condições tropicais (MARIN, 2000).

A tolerância à falta d’água e a ocorrência do estresse hídrico podem acontecer em maior ou menor intensidade, a depender da espécie, genótipo, duração e severidade, idade das plantas e estágio fenológico em que se encontram (SANT’ANNA et al., 2009). As plantas apresentam diferentes respostas diante destas adversidades, as quais podem ser de tolerância ou susceptibilidade, levando desde reduções no seu crescimento, podendo até mesmo chegar à morte, de acordo com a magnitude do estresse (CAMBRAIA, 2005).

A interação entre o porta-enxerto e o enxerto de citros pode contribuir para o grau de tolerância à seca da cultivar copa (SOUZA et al., 2001). Portanto, é desejável que nestas condições de déficit hídrico, sejam utilizadas combinações de porta-enxerto e cultivar copa que mostrem, entre outras características de interesse agrônomo, tolerância à seca, sistema radicular mais vigoroso, maior eficiência no uso da água e maior capacidade em se adaptar a diferentes tipos de solo (ORTOLANI et al., 1991). Desta forma, a importância da compatibilidade entre o porta-enxerto e o enxerto se faz presente, para que essas características sejam maximizadas e exploradas ao máximo pelas plantas, principalmente se considerarmos que a citricultura brasileira é desenvolvida predominantemente sob condição de sequeiro (DONATO et al., 2007).

Relações hídricas no solo e respostas fisiológicas dos citros

A água é essencial na manutenção da integridade funcional e das atividades metabólicas das células vegetais e animais. Trata-se do componente mais abundante das células vivas dos vegetais, participando de diversos processos nas plantas, como na fotossíntese, atividades metabólicas e principalmente na transpiração (VIEIRA et al., 2010). Plantas de citros sob condição de déficit hídrico podem apresentar comprometimento no desenvolvimento do sistema radicular, nas trocas gasosas, havendo redução na perda de água para o ambiente e consequentemente na absorção e assimilação de CO₂, limitando a atividade fisiológica das plantas e afetando a produção de fotoassimilados, carboidratos, fitohormônios, entre outros compostos (MEDINA, 2003).

Castro Neto (2003) relatou que, a resistência estomática é reflexo da disponibilidade hídrica para as plantas, sendo o déficit hídrico o fator limitante na regulação da abertura estomática e na redução da transpiração. Para ele, o processo transpiratório claramente reflete a disponibilidade de água para a planta. Amaral et al. (2006) acrescentam que, como os estômatos são as principais vias de troca gasosa entre o ambiente e a planta, aumentos na resistência estomática, causam redução expressiva na taxa fotossintética líquida, levando a redução no crescimento e na produção das plantas.

Com a redução do processo de transpiração das plantas em casos de déficit hídrico muito severo, a mesma não consegue manter o equilíbrio entre a absorção e a perda de água, uma vez que os níveis de água tanto intracelular quanto no solo estão baixos. Assim, como mecanismo de tolerância, as plantas devem evitar a dessecação e a morte celular, os quais podem levar a morte de tecidos e da própria planta. E elas fazem isso, através do influxo de água, captando em camadas mais profundas do solo e acumulando solutos na célula (ajustamento osmótico), e/ou impedindo o efluxo de água para o meio externo (CAMPOS, 2009). A capacidade de recuperação das plantas cítricas após a ocorrência de um estresse hídrico, é uma característica relevante e está relacionada com a recuperação do potencial hídrico, aumento da regulação estomática, condutividade hidráulica do sistema radicular e funcionamento adequado dos processos bioquímicos e fotoquímicos (SYVERTSEN & LLOYD, 1994).

Os processos fisiológicos das plantas como, a fotossíntese líquida, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂, são também afetados por outros fatores ambientais, como disponibilidade de luz, temperatura, concentração de CO₂ da atmosfera e disponibilidade de nutrientes no solo (TAIZ & ZEIGER, 2009). Logo, com base no estudo das interações desses processos fisiológicos com cada fator ambiental, sobretudo a condição hídrica da planta, pode-se compreender a eficiência do crescimento e a capacidade de adaptação às mais diversas variações do ambiente de uma dada espécie ou cultivar (QUIÑONES et al., 2005; PEIXOTO et al., 2006).

Contudo é de suma importância entender que o efeito das limitações hídricas nas plantas, especialmente sob o comportamento fisiológico e morfológico, é volúvel entre espécies, e até mesmo dentro de uma mesma espécie englobando diferentes cultivares.

Influência do déficit hídrico no vigor das plantas de citros baseado na anatomia dos elementos de vaso

Os efeitos causados pelo déficit hídrico ocasionam diversas mudanças na anatomia, bioquímica e na fisiologia das plantas. No entanto, o grau e a intensidade dessas mudanças irão variar de acordo com o tipo de planta, com as características dos porta-enxertos, e com o período de duração as quais foram submetidas ao estresse, afetando, portanto, todos os seus estágios fenológicos de desenvolvimento (KRAMER, 1983). Porém, há também plantas que são adaptadas e suportam o período de estiagem, estas desenvolvem algumas estratégias fisiológicas e morfológicas visando a sua sobrevivência (DOSS et al., 1960).

As relações do porta-enxerto e interenxerto com as características anatômicas e fisiológicas das plantas são decorrentes da interação e do sucesso da compatibilidade funcional entre estes genótipos com a cultivar copa, sendo estas relações afetadas de maneira variada. Estudos anatômicos voltados para o entendimento desta relação porta-enxerto/cultivar copa, são relacionados em geral ao sistema vascular, com ênfase nos elementos de vaso (xilema), tendo como finalidade caracterizá-lo e compreender o seu funcionamento (RODRÍGUEZ-GAMIR et al., 2016; GAONA-PONCE et al., 2018). Modificações que ocorrem na morfologia do xilema das copas enxertadas, como a redução da área do lúmen dos vasos; no comportamento do crescimento vegetativo mediante ao porta-enxerto utilizado; na dinâmica das relações das trocas gasosas e hídricas do dossel; na distribuição e no calibre dos elementos de vaso afetando a condutância hidráulica da planta, dentre outras, são exemplos claros de pontos crucialmente influenciados por essas interações (RODRIGUÉS-GAMIR et al., 2010b).

O diâmetro e a distribuição dos elementos de vaso afetam diretamente o volume do fluxo de água e solutos para o dossel das plantas, e conseqüentemente reduz a eficiência condutiva desempenhada pelos mesmos (ZIMMERMANN, 1983). Elementos de vaso que apresentam maior diâmetro são mais eficientes hidráulicamente em relação aos de menor diâmetro. Em contrapartida, acabam sendo mais susceptíveis ao processo de cavitação em situação de estresse hídrico causado pelo déficit hídrico (CARLQUIST, 1975; VASCONCELLOS & CASTLE, 1994). No entanto, os elementos de vaso de menor diâmetro podem apresentar uma determinada particularidade envolvida no não fornecimento adequado de água para as plantas jovens, de forma a não conseguir sustentar o seu crescimento e futuramente sua produção. Desta forma, a capacidade hidráulica e as características do sistema vascular desempenham papel fundamental em diversos processos fisiológicos das plantas, como na regulação estomática e nas trocas

gasosas, influenciando no seu metabolismo e desenvolvimento (GONÇALVES et al., 2007; TOMBESI et al., 2009).

Jacobsen et al. (2005) avaliando seis espécies de arbustos ocorrentes em chapadas no sul da Califórnia, observaram que plantas submetidas ao estresse hídrico severo tendem a apresentar menor diâmetro de calibre dos elementos de vaso do xilema, este fato se dá, para amenizar possíveis cavitações que possam vir a ocorrer como resultado da deficiência hídrica. Afirmam ainda, que a resistência a cavitação dos elementos de vaso pode ser aumentada através da redução do diâmetro do lume dos mesmos, resultante do aumento da espessura da parede. De acordo com Yaltirik (1970) e Baas et al. (1983) – apud Pinho et al. (1992), elementos de vaso em grande número e com pequeno diâmetro são frequentemente encontrados em espécies de plantas presentes em ambientes secos. Machado (2004) estudando os efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* Mart., observou um aumento no número de elementos de vaso do xilema nas plantas sob déficit hídrico em comparação com as plantas controle. Além do mais, o calibre dos elementos de vaso das plantas que não estavam em condição de déficit hídrico era maior em relação às plantas sob condição de estresse hídrico.

Saeed et al. (2010) estudando os elementos de vaso do xilema do caule de sete porta-enxertos, incluindo a laranjeira-azedada e o trifoliateiro ‘Flying Dragon’, associaram o vigor característico de alguns porta-enxertos aos elementos de vaso, onde porta-enxertos mais vigorosos como, por exemplo, o limoeiro rugoso apresentam menores proporções de casca no caule e nas raízes e elementos de vaso do xilema maiores em relação a porta-enxertos menos vigorosos como o ‘Flying Dragon’.

Explicaram também, que a diferença na quantidade e tamanho dos vasos se deve à síntese de auxinas nas folhas jovens, onde níveis altos induzem a formação de numerosos vasos de pequeno diâmetro, devido à sua rápida taxa de diferenciação. Entretanto, se a concentração de auxina for baixa, a diferenciação ocorre de forma mais lenta e, portanto, há um número menor de vasos, porém, de maior diâmetro, sugerindo que baixos níveis de auxina/citocinina favorecem a diferenciação do floema e níveis mais altos de auxina/citocinina favorecem a diferenciação do xilema. Além do mais, Martínez-Alcántara et al. (2013) verificaram que o nanismo causado pelo trifoliateiro ‘Flying Dragon’ está associado à sua baixa condutividade hidráulica, resultando em menor potencial hídrico e redução da condutividade estomática.

Sendo assim, alterações que possam vir a ocorrer no padrão do sistema vascular das plantas, mediante a utilização de diferentes porta-enxertos e interenxertos cítricos, consistem em características importantes que devem ser levadas em consideração no momento da escolha

dos genótipos que serão utilizados, de forma que a combinação dos mesmos, proporcione ótimo desenvolvimento frente às variadas situações de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

Material vegetal

Foram utilizadas duas cultivares copa sendo elas, para o experimento 1, a tangerineira ‘Ponkan’ (*C. reticulata* Blanco) e, para o experimento 2, o tangoreiro ‘Murcott’ (*C. reticulata* Blanco × *C. sinensis* Osbeck), no entanto, o material e métodos será comum a ambos materiais vegetais.

Em relação aos porta-enxertos, foram utilizados duas cultivares vigorosas e uma ananicante, sendo estas respectivamente, o limoeiro ‘Cravo’ (*C. limonia*), o citrumeleiro ‘Swingle’ (*P. trifoliata* × *C. paradisi*) e o trifoliateiro ‘Flying Dragon’ (*P. trifoliata* var. *monstrosa*). O trifoliateiro ‘Flying Dragon’ foi também utilizado como interenxerto sobre as cultivares ‘Cravo’ e ‘Swingle’.

Sistema de cultivo e condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão (UEPE) – Pomar do Fundão, situado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, nas coordenadas geográficas de 20°45'46.05"S, 42°51'4.45"O e 695 m de altitude. O município apresenta clima subtropical úmido, com inverno frio e seco e verão quente e úmido, classificado como Cwa tropical, de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (KÖPPEN, 1936). A temperatura média e umidade média durante o período de condução dos experimentos foi de 21,4 °C e 83,9 %, respectivamente, com temperatura máxima de 32,3 °C e mínima de 14,4 °C. Os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos através da estação meteorológica de Viçosa-MG do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os experimentos foram conduzidos sob delineamento em blocos casualizados (DBC) com 5 tratamentos e três repetições, de modo que, cada unidade experimental foi composta por uma planta, totalizando 15 plantas por experimento. As avaliações dos parâmetros fisiológicos e do solo foram realizadas ao longo do tempo de duração do déficit hídrico e após a reidratação

das plantas. Já as variáveis biométricas, em que foi necessário realizar a destruição das plantas, foram avaliadas após a desmontagem do experimento na casa de vegetação.

Experimento 1

O experimento 1 foi composto por 5 tratamentos descritos conforme a Tabela 1. Os tratamentos sem interenxertia, compostos apenas pelos porta-enxertos ‘Flying Dragon’, ‘Cravo’ e ‘Swingle’ foram utilizados como tratamentos controle.

Tabela 1. Composição das plantas e tratamentos com suas respectivas identificações.

Tratamento	Copa	Interenxerto	Porta-enxerto
1- PF	‘Ponkan’	-	‘Flying Dragon’
2- PS	‘Ponkan’	-	‘Swingle’
3- PC	‘Ponkan’	-	‘Cravo’
4- PFS	‘Ponkan’	‘Flying Dragon’	‘Swingle’
5- PFC	‘Ponkan’	‘Flying Dragon’	‘Cravo’

Experimento 2

O experimento 2 também foi composto de 5 tratamentos descritos conforme a Tabela 2. Os tratamentos sem interenxertia, compostos apenas pelos porta-enxertos ‘Flying Dragon’, ‘Cravo’ e ‘Swingle’ foram utilizados como tratamentos controle.

Tabela 2. Composição das plantas e tratamentos com suas respectivas identificações.

Tratamento	Copa	Interenxerto	Porta-enxerto
1- MF	‘Murcott’	-	‘Flying Dragon’
2- MS	‘Murcott’	-	‘Swingle’
3- MC	‘Murcott’	-	‘Cravo’
4- MFS	‘Murcott’	‘Flying Dragon’	‘Swingle’
5- MFC	‘Murcott’	‘Flying Dragon’	‘Cravo’

Obtenção do material vegetal

Todos os genótipos que foram utilizados são oriundos do matrizeiro da UEPE – Pomar do Fundão e da coleção de porta-enxertos de citros do Departamento de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os porta-enxertos ‘Cravo’, ‘Swingle’ e ‘Flying Dragon’ foram propagados via semente. Após 389 dias da semeadura (DAS), quando alcançaram um diâmetro de tronco de 0,6 à 1 cm, foram feitas as enxertias pela técnica de borbulhia de “T” invertido, à 15 cm de altura do colo da planta, com as cultivares copa ‘Ponkan’ e ‘Murcott’, correspondendo, portanto, somente aos tratamentos porta-enxerto e cultivar copa (1, 2, 3 – TABELAS 1 e 2). Igualmente para os tratamentos com interenxerto, quando os porta-enxertos ‘Cravo’ e ‘Swingle’ alcançaram um diâmetro de tronco de 0,6 à 1 cm, foi realizada a enxertia do trifoliato ‘Flying Dragon’ por borbulhia de “T” invertido. Passados 120 dias após a enxertia do ‘Flying Dragon’, quando as hastes atingiram diâmetro adequado para a enxertia (0,6 a 1 cm), foi realizado uma nova enxertia com as cultivares copa ‘Ponkan’ e ‘Murcott’, também por borbulhia de “T” invertido. A enxertia foi feita a uma distância de aproximadamente 5 cm da enxertia anterior, correspondendo assim, aos tratamentos (4, 5 – TABELAS 1 e 2). O decotamento total (corte) acima do ponto de enxertia da parte aérea do interenxerto foi realizado após 25 da realização da enxertia das cultivares copa no interenxerto.

As plantas no início dos experimentos se encontravam com aproximadamente dois anos de idade, e estavam em recipientes plásticos de 15 L. No dia 07 de julho de 2022, estas plantas foram transplantadas para recipientes maiores, de 60 L de capacidade, com o intuito de proporcionar um melhor ambiente para o desenvolvimento do sistema radicular e da copa (Figura 1A). O substrato utilizado foi preparado na UEPE - Pomar do Fundão, na seguinte proporção: três medidas de solo de barranco peneirado, para duas medidas de areia e uma medida de esterco bem curtido, acrescido de 200 g de calcário dolomítico e 200 g de MAP (10% a 12% de Nitrogênio amoniacal e 50% a 54% de P₂O₅ – fósforo) (Figura 1B). Com o auxílio de uma ferramenta perfurocortante, foram retiradas fatias de 5 cm de espessura do fundo do recipiente de 15 L para que fossem eliminadas as raízes que possivelmente estariam enoveladas, além de estimular o desenvolvimento de novas raízes no novo recipiente transplantado (Figura 1C). As plantas foram posicionadas no centro dos vasos, atentando-se para não aprofundar muito o coleto e a região da enxertia no substrato (Figura 1D).



Figura 1. Plantas transplantadas para vasos de 60 L de capacidade (A); Preparo do substrato para realizar o enchimento dos vasos (B); Retirada das raízes enveloadas das plantas antes de realizar o transplântio (C); Plantas transplantadas e posicionadas no centro dos vasos de 60 L (D). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Após o transplântio, foram realizadas aplicações com o fungicida sistêmico ALIETTE® (FOSETIL-AL), na proporção de 50 g do produto comercial para 20 L de água, a fim de controlar/prevenir o ataque dos fungos causadores da gomose (*Phytophthora citrophthora*; *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica*). A aplicação foi direcionada na copa, nos ramos e no tronco, até que houvesse o escorrimento no substrato, uma vez que o produto apresenta boa movimentação no solo. O volume utilizado para o preparo da calda foi de 25 mL do produto químico para cada 10 L de água, concentração de 2,5%.

Uma poda leve nas plantas foi realizada para retirada de ramos do centro e muito vigorosos com crescimento desordenado na copa. Aplicações de micronutrientes foram realizadas com o auxílio de um pulverizador a cada 15 dias até o início do florescimento. As fontes e quantidades utilizadas foram: Sulfato de zinco – 30 g; Sulfato de manganês – 5 g; Ácido bórico – 10 g; e Sulfato de cobre – 5 g. Todas essas quantidades foram bem homogeneizadas em um volume de calda de 10 L de água.

Durante o cultivo, as plantas foram irrigadas manualmente em dias alternados com o mesmo volume de água (3 L/vaso) e monitoradas em casa de vegetação para a realização dos tratamentos culturais e manejo fitossanitário adequados.

No dia anterior ao início das avaliações, realizou-se o corte total da irrigação (22/11/22), induzindo as plantas, portanto, ao déficit hídrico com duração de 19 dias, com o intuito de promover um estresse agudo nas mesmas. As avaliações iniciaram-se no dia 23/11/22, onde foram feitas nove avaliações durante o período de déficit hídrico, em dias alternados, conforme Tabela 3. Após este processo, foi realizada a reidratação das plantas no dia 12/12/2022, os vasos

foram irrigados manualmente com 6 L diários de água até finalizar as duas últimas avaliações, que foram nos dias 16/12/2022 (quatro dias após a reidratação) e 19/12/2022 (sete dias após a reidratação).

Tabela 3. Dias de avaliação dos tratamentos no período de déficit hídrico e após a reidratação das plantas.

Avaliações	Data
1ª Avaliação (1 DADH)	23/11/2022
2ª Avaliação (3 DADH)	25/11/2022
3ª Avaliação (5 DADH)	27/11/2022
4ª Avaliação (7 DADH)	29/11/2022
5ª Avaliação (9 DADH)	01/12/2022
6ª Avaliação (11 DADH)	03/12/2022
7ª Avaliação (13 DADH)	05/12/2022
8ª Avaliação (16 DADH)	08/12/2022
9ª Avaliação (19 DADH)	11/12/2022
Reidratação	12/12/2022
10ª Avaliação (4 DAR)	16/12/2022
11ª Avaliação (7 DAR)	19/12/2022

DADH – Dias após o déficit hídrico; DAR – Dias após reidratação.

Avaliações

Variáveis fisiológicas

Estimativa do potencial hídrico da planta (Ψ_F)

O potencial hídrico das plantas (Ψ_F) foi mensurado em dias alternados ao longo do desenvolvimento do déficit hídrico. Para isto, eram selecionadas três folhas maduras, isentas de ataque de pragas, sintomas de doenças ou deficiências nutricionais, de cada tratamento. As folhas eram coletadas no terço médio da planta, uma em cada ramo (sub-lignificado/lignificado)

do fluxo de crescimento do ano anterior, em dois momentos, na antemanhã (3h da manhã - Ψ_{Fpd}) e ao meio-dia (12h da tarde - Ψ_{Fmd}). A coleta era sempre feita com o auxílio de uma lâmina de gilete, para que o corte fosse feito sem gerar nenhum tipo de dano ao ramo e a folha coletada (Figura 2A).

As folhas usadas para a estimativa do (Ψ_F) eram encerradas em saco plástico transparente de fecho hermético contendo em seu interior papel toalha umedecido (Figura 2B) (JUAREZ, 2019). Os sacos plásticos com as folhas coletadas eram acondicionados dentro de uma caixa térmica contendo cubos de gelo (Figura 2C).

O potencial hídrico (expresso em MPa) foi estimado com uma câmara de pressão Scholander (Soil Moisture Corp., EUA) modelo 3000 (Figura 2D). Foram realizadas três leituras, uma em cada folha dos tratamentos nos dois períodos de avaliação, porém, uma das leituras era descartada, mantendo-se apenas as duas mais aproximadas, fazendo-se posteriormente a média destes valores.



Figura 2. Coleta das folhas no terço médio das plantas na antemanhã (A); Acondicionamento das folhas dos respectivos tratamentos em saquinho plástico zip-lock bem umedecido com água e papel toalha (B); Armazenamento dos saquinhos em caixa térmica contendo barras de gelo (C); Leitura do potencial hídrico das folhas utilizando-se a câmara de pressão Scholander (D). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Trocas gasosas

As medidas das variáveis fisiológicas, fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$) foram realizadas em folhas completamente desenvolvidas do terço médio da copa (Figura 3A), em um ramo (sub-lignificado/lignificado). Três leituras consecutivas, espaçadas entre si por 15 s, foram realizadas para cada folha analisada por meio de um analisador de gases infravermelho – IRGA (Infrared Gas Analyzer)

LCpro - SD (IRGA - ADC BioScientific Ltda®) (Figura 3B). As avaliações foram sempre realizadas na mesma folha no período da manhã. Entre cada unidade experimental, antes de proceder a primeira leitura, pinçava-se a folha e aguardava-se a estabilização do equipamento (Figura 3C). Os dados apresentados foram as médias das três leituras em cada data de avaliação.



Figura 3. Marcação das folhas com fita colorida para a realização das leituras com o IRGA (A); Realização das leituras com o equipamento IRGA (Infrared Gas Analyzer) LCpro - SD (IRGA - ADC BioScientific Ltda®) (B); Procedimento de pinçar a folha e aguardar a estabilização do equipamento para proceder as leituras (C).
Fonte: Arquivo pessoal.

Teor relativo de clorofila – Índice SPAD

O teor relativo de clorofila foi determinado mediante cinco leituras realizadas em cada unidade experimental, sendo uma em cada folha das plantas, assim para cada repetição foi considerado o valor médio das cinco leituras. A avaliação foi realizada com o medidor de clorofila modelo Minolta SPAD-502 (Soil-Plant Analysis Development Section, Minolta Camera CO., Osaka, Japan).

Tendo em vista que o nitrogênio, um dos principais elementos presentes na molécula da clorofila, possui boa **A**bilidade nas plantas, sua deficiência, portanto, se manifesta primeiramente nas folhas mais velhas, devido ao seu transporte (remobilização) para as partes mais novas (MALAVOLTA et al., 1997). Desta forma, foram selecionadas e marcadas cinco folhas completamente expandidas no terço médio da planta, saudáveis, sem sintomas de ataque de pragas e doenças, para proceder a avaliação até o fim dos experimentos (Figura 4A). As leituras eram feitas na região mediana das folhas, não considerando a nervura central nem as margens, sempre na parte da manhã no período de 09:30h às 10:30h. Antes de cada avaliação foi realizada a calibração do equipamento (Figura 4B).

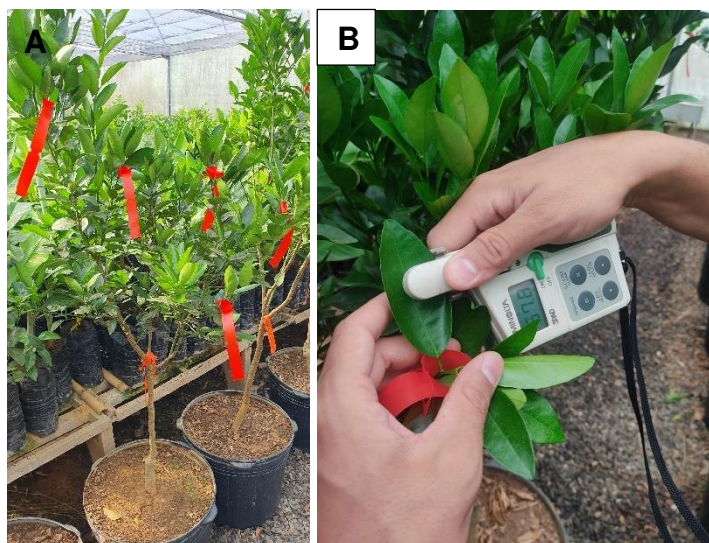


Figura 4. Marcação das folhas com fita colorida para a realização das leituras com o SPAD (A); Realização das leituras com o equipamento medidor de clorofila modelo Minolta SPAD-502 (B). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Área foliar, Densidade estomática e índice estomático

Após a última avaliação realizada em campo, no dia 20/01/2023 procedeu a coleta de três folhas por unidade experimental, as quais eram as mesmas marcadas para a avaliação do SPAD. Nestas folhas foram feitas as avaliações de área foliar, densidade estomática e índice estomático.

O equipamento utilizado para a mensuração da área foliar foi o Area Meter modelo LI-3100C da fabricante LI-COR Biosciences (Figura 5A). Este é um aparelho de bancada projetado para digitalizar de forma instantânea a área das folhas, por meio de duas esteiras transportadoras transparentes, que fazem a movimentação das folhas de forma rápida. O registro pode ser de folhas individuais ou de um grupo de folhas, facilitando a comparação entre os tratamentos (LI-COR BIOSCIENCES, 2023).

As folhas de cada unidade experimental foram colocadas uma de cada vez, com o lado adaxial voltado para cima, cuidando para que as bordas não dobrassem, removendo-as no fim do percurso da correia transportadora, para evitar danos as mesmas (Figuras 5B e 5C). O registro foi feito em cm^2 , sendo assim, para cada repetição foi utilizado o valor médio das três folhas de cada planta.

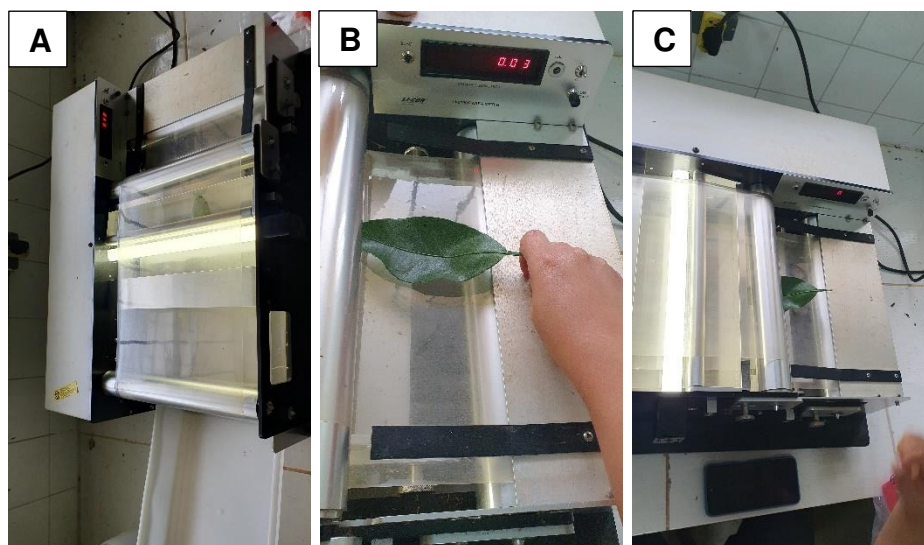


Figura 5. Area Meter modelo LI-3100C da fabricante LI-COR Biosciences (A); Realização das leituras de área foliar com o equipamento Area Meter (B); Passagem da folha no percurso da correia transportadora do equipamento Area Meter (C). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Ao finalizar a análise de área foliar, as folhas foram cuidadosamente acondicionadas em saco plástico transparente de fecho hermético e transportadas em caixa térmica até o Laboratório de Anatomia Vegetal no Departamento de Biologia Vegetal da UFV, para dar início ao processo de avaliação da densidade estomática e índice estomático. Utilizou-se a técnica de impressão da epiderme, onde as folhas foram fracionadas no terço mediano, evitando-se a nervura central (Figura 6A). As impressões epidérmicas foram obtidas tanto da face adaxial quanto da face abaxial, utilizando-se adesivo instantâneo (TEK® BOND), sendo estas utilizadas para a montagem de lâminas semipermanentes. Para a montagem da lâmina, aplicava-se uma gota do adesivo instantâneo sobre a mesma e posicionava-se o fragmento da folha por cima, pressionando por alguns segundos e deixando secar (Figura 6B). Após este procedimento, o fragmento era retirado da lâmina, permanecendo apenas a impressão daquele material (Figura 6C).

As lâminas foram observadas em fotomicroscópio (Olympus AX70) com sistema U-Photo, acoplado a uma câmera fotográfica e um microcomputador (Figura 6D). Para a determinação da densidade estomática (mm^2) e da porcentagem do índice estomático, foram realizadas um total de 36 observações por planta, sendo 12 em cada folha (6 na face adaxial e 6 na face abaxial), em campos com área correspondente a $0,15 \text{ mm}^2$. Os dados quantitativos da superfície epidérmica foram obtidos com o auxílio do Software Image-Pro Plus, sendo posteriormente submetidos à análise de variância. O cálculo da porcentagem do índice estomático foi realizado de acordo com a seguinte fórmula: $(IE) = NE/(NE+CE)$, em que IE é

o índice estomático, NE é o número de estômatos contados e CE é o número de células epidérmicas contadas (Cutter, 1986).

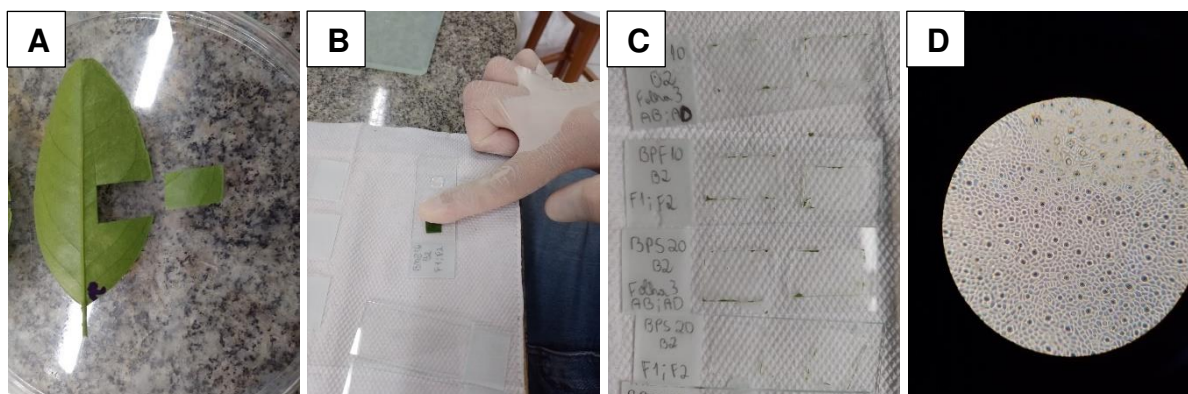


Figura 6. Fracionamento da folha em pequenos fragmentos com o auxílio de uma lâmina de bisturi (A); Montagem da lâmina com cola instantânea e o fragmento da folha (B); Retirada dos fragmentos após a secagem da cola instantânea e finalização das lâminas (C); Foto obtida através da avaliação da lâmina no fotomicroscópio (D).
Fonte: Arquivo pessoal.

Parâmetros do solo

Teor de umidade do solo

O gradiente hídrico do solo foi determinado pelo método tradicional da estufa. Onde amostras de solo foram coletadas na camada de 0-30 cm nos vasos das unidades experimentais (Figura 7A). Foram feitas amostragens em todos os dias de avaliação, em que o solo era retirado com o auxílio de um trado tipo sonda e armazenado em saquinhos plásticos (Figura 7B). Posteriormente as amostras eram transportadas até o Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV em caixa térmica.

As amostras eram pesadas ainda úmidas (Figura 7C), e levadas para a estufa de circulação de ar forçado por 24 h a 105 °C. Ao final do procedimento as amostras eram novamente pesadas, sendo possível calcular a porcentagem de umidade do solo em base seca, de acordo com a seguinte expressão: $U_g = [(Mu - Ms) / (Ms \times 100)]$, em que U_g é o conteúdo gravimétrico de água no solo (% de massa), Mu é a massa úmida da amostra (g), e Ms é a massa seca da amostra (g).

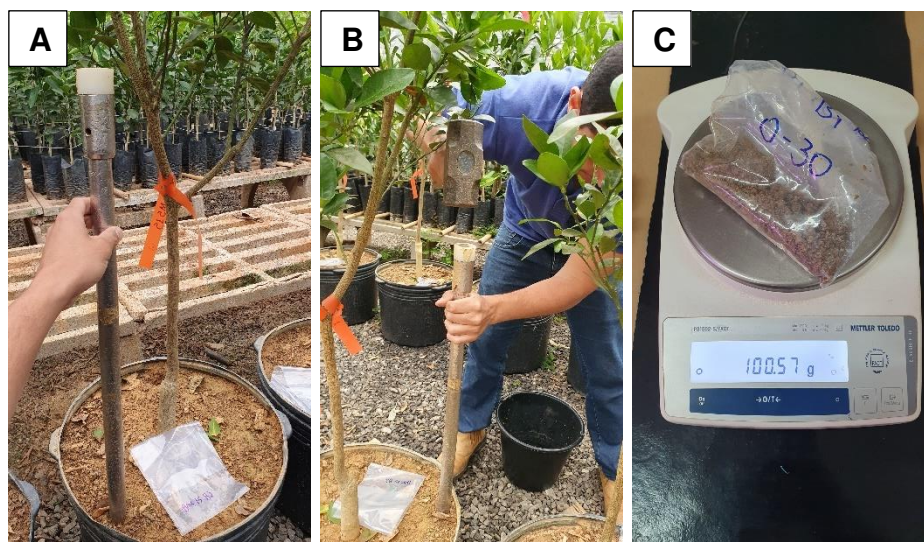


Figura 7. Amostragem realizada na profundidade de 0 – 30 cm na extremidade dos vasos (A); Realização da coleta de amostras de solo e acondicionamento das mesmas em saquinhos plásticos (B); Pesagem das amostras de solo em balança analítica digital (C). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Variáveis Biométricas

Características morfométricas do sistema radicular

Realizou-se a coleta das raízes das unidades experimentais no dia 27/01/2023 para a avaliação das características: comprimento total de raízes; área superficial de raízes; volume de raízes e matéria seca de raiz. Com o auxílio de uma pá de corte e uma ferramenta perfurocortante, retirou-se duas fatias de solo contendo as raízes de cada planta, representando $\frac{1}{4}$ do sistema radicular da mesma (Figura 8A). Em seguida, as raízes foram cuidadosamente lavadas em água corrente para retirar o excesso de solo e qualquer outra impureza aderida ao sistema radicular. As raízes foram transportadas para o Laboratório e determinadas suas características morfométricas (Figura 8B).

As raízes foram segmentadas de forma a caberem na cubeta do Scanner de mesa da marca EPSON, modelo Expression 11000XL, com dimensões de 25 cm x 40 cm x 7 cm (largura x comprimento x altura) (Figura 8C), para que se procedessem as análises através da imagem gerada pelo equipamento. A segmentação das raízes foi feita em até 4 partes, dependendo do volume de raízes de cada planta, com o intuito de evitar qualquer tipo de sobreposição do material. Já acondicionadas na cubeta, completava-se com 800 mL de água para que as raízes ficassem submersas e espalhadas por toda a área do equipamento, e realizava-se a digitalização das mesmas, sendo as informações obtidas processadas pelo Software WinRhizoPro 2009 (Basic, Reg, Pro e Arabidopsis for Root Measurement) (Figura 8D). As variáveis estimadas

pelo software foram: comprimento total de raízes (cm); área superficial de raízes (cm²) e volume de raízes (cm³).

Ao finalizar a avaliação com o Scanner, as raízes foram secas em papel toalha, acondicionadas em sacos de papel Craft e levadas para a estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, por 72 h até atingir peso contante, para a determinação do peso de massa seca de raiz (MSR). Após seco, os materiais de raiz de cada parcela experimental foram pesados em balança digital com precisão de duas casas decimais (0,01 g).

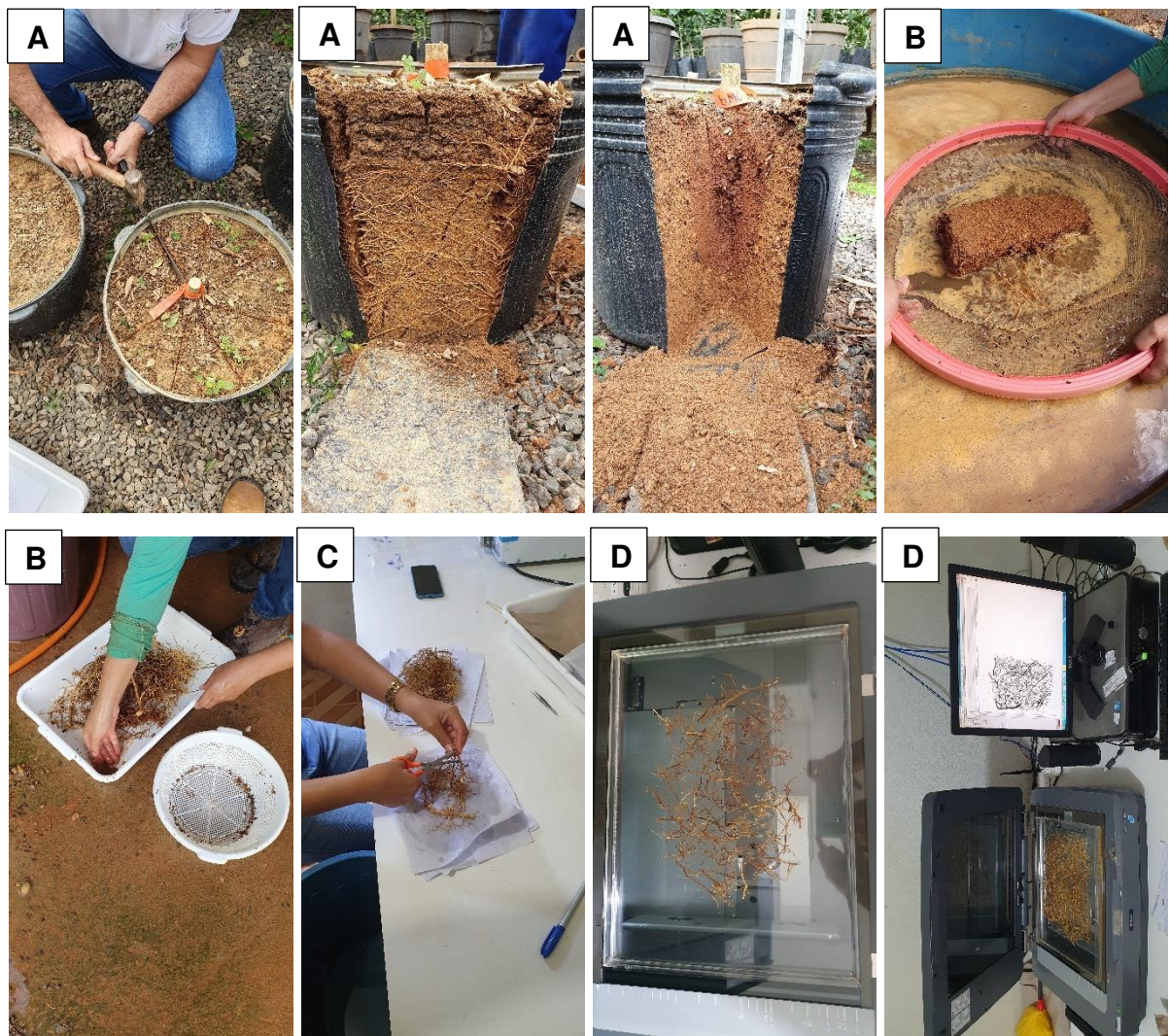


Figura 8. Retirada das frações de solo contendo as raízes dos respectivos tratamentos (A); Lavagem das raízes visando a retirada do solo e de impurezas aderidas às raízes (B); Segmentação das raízes em fragmentos menores para o acondicionamento na cubeta (C); Digitalização das raízes e processamento das imagens via Software WinRhizoPro 2009 (Basic, Reg, Pro e Arabidopsis for Root Measurement) (D). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Diâmetro caulinar do enxerto, interenxerto e porta-enxerto

O diâmetro caulinar (mm) do enxerto, interenxerto e porta-enxerto das plantas foi determinado com o auxílio de um paquímetro digital. Para a medida caulinar da copa fez a determinação a 5 cm acima da linha de soldadura da enxertia (Figura 9A). Na medida caulinar do porta-enxerto fez-se a determinação a 5 cm abaixo da linha de soldadura da enxertia (Figura 9B). E para a determinação do diâmetro do interenxerto fez-se a medição no meio do fragmento vegetal (Figura 9C).

Nos tratamentos em que não havia a presença do interenxerto, para compor os dados, foi feita a medição na linha de soldadura da enxertia (Figura 9D).

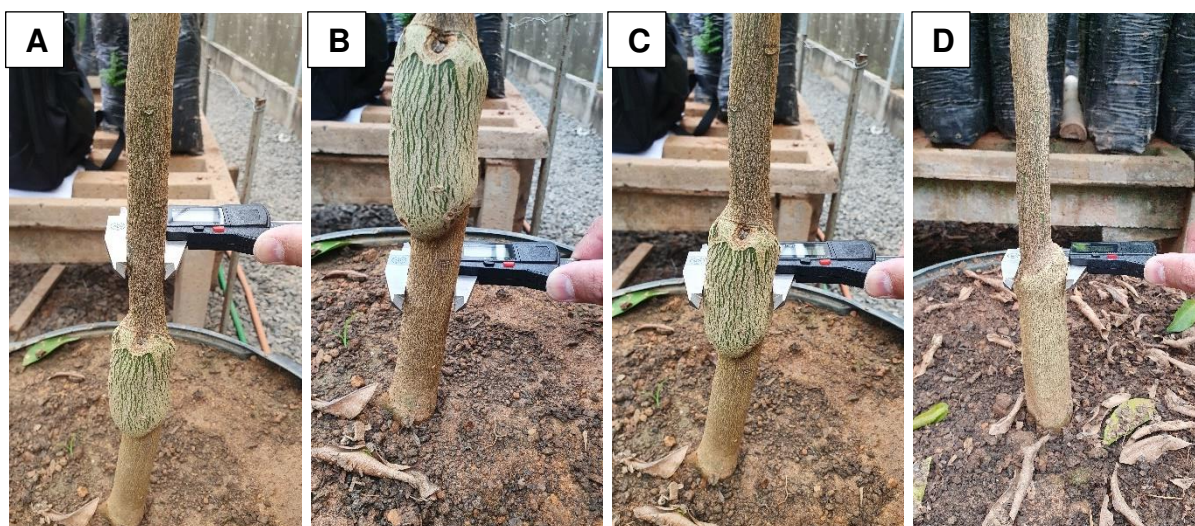


Figura 9. Determinação do diâmetro caulinar da copa (A); Determinação do diâmetro caulinar do porta-enxerto (B); Determinação do diâmetro caulinar do interenxerto (C); Determinação do diâmetro da linha de soldadura da enxertia nos tratamentos em que não havia a presença do interenxerto (9D). **Fonte:** Arquivo pessoal.

Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), um teste de Tukey ($p \leq 0,05$) foi usado para o fator qualitativo e uma análise de regressão ($p \leq 0,05$) foi usada para o fator quantitativo. O programa estatístico R (R Core Team, 2024) foi usado para as análises estatísticas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

A combinação adequada de enxerto e porta-enxerto é fundamental para o sucesso da produção agrícola; em particular, a enxertia é uma técnica amplamente utilizada na citricultura (Bowman e Joubert, 2020). A habilidade dos porta-enxertos em fornecer água e nutrientes às plantas, por meio de diferenças na condutância hidráulica das raízes, pode ser o principal fator que influencia o desenvolvimento dos frutos em plantas cítricas, pois provavelmente determina a resistência da cultivar enxertada e sua tolerância ao estresse hídrico (Medina e Machado, 1998).

A enxertia e interenxertia não influenciaram o índice estomático, densidade estomática, índice estomático total, densidade estomática total e área foliar da tangerineira ‘Ponkan’ (Figura 10). O motivo para o menor potencial hídrico foliar ao meio-dia nas plantas enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’ pode estar relacionado a uma resposta fisiológica rápida e específica ao estresse hídrico, mesmo que o período de déficit hídrico tenha sido relativamente curto. O fato de as plantas terem sido reidratadas após 9 dias sugere que o tempo de exposição à seca pode ter sido suficiente para desencadear uma resposta inicial, mas não longo o bastante para gerar mudanças estruturais mais duradouras, como a redução do potencial hídrico de forma permanente.

Quanto à ausência de efeito da enxertia e da interenxertia sobre características como índice e densidade estomática, índice estomático total, densidade estomática total e área foliar na tangerineira ‘Ponkan’ (Figura 10), isso indica que esses fatores não influenciaram diretamente a capacidade das plantas de controlar a abertura dos estômatos ou o desenvolvimento da área foliar. O comportamento estomático, a frequência e o tamanho dos estômatos desempenham um papel fundamental na regulação do fluxo de água e CO₂, sendo um dos principais fatores que afetam a eficiência do uso da água pelas plantas (Wang et al., 2020).

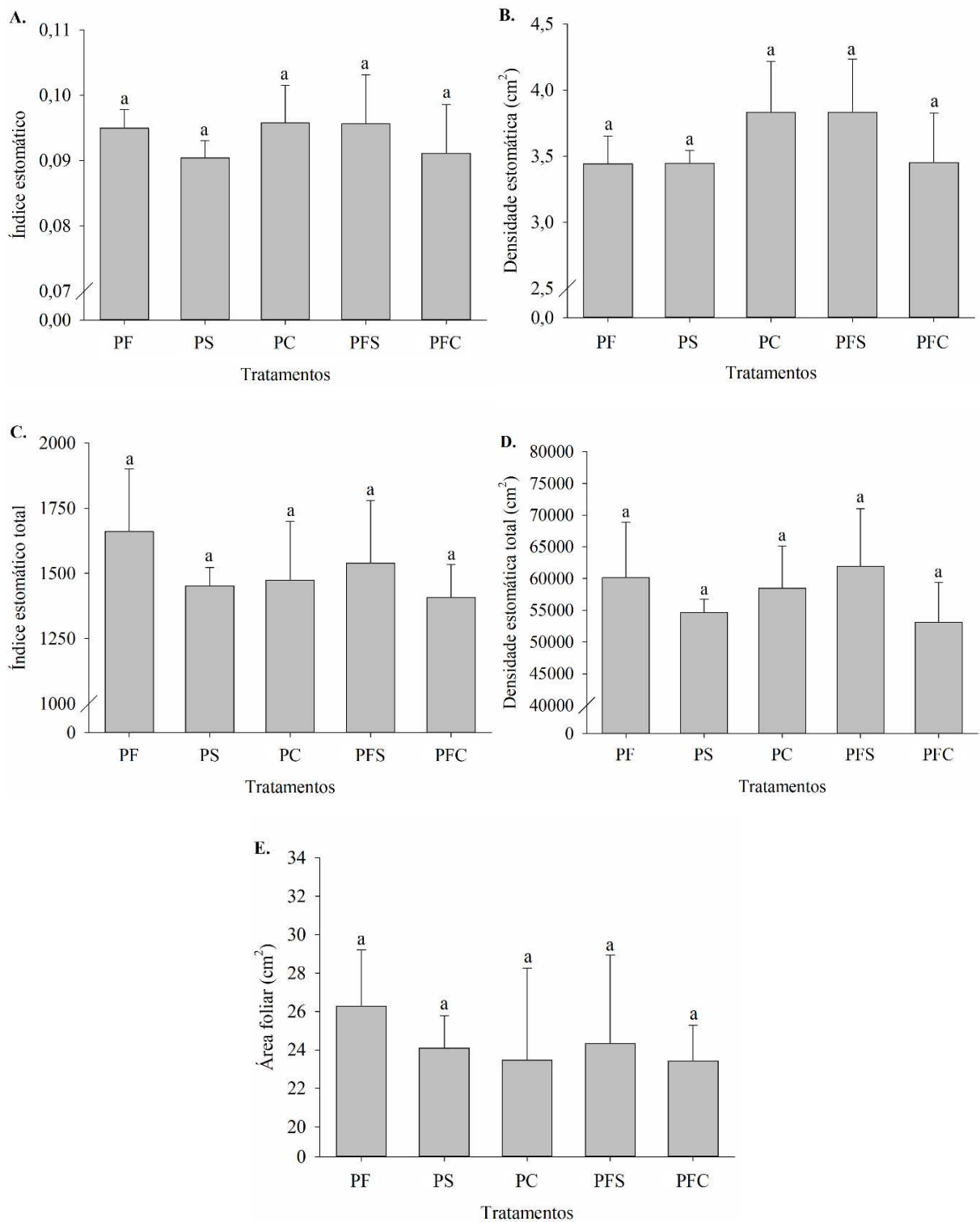
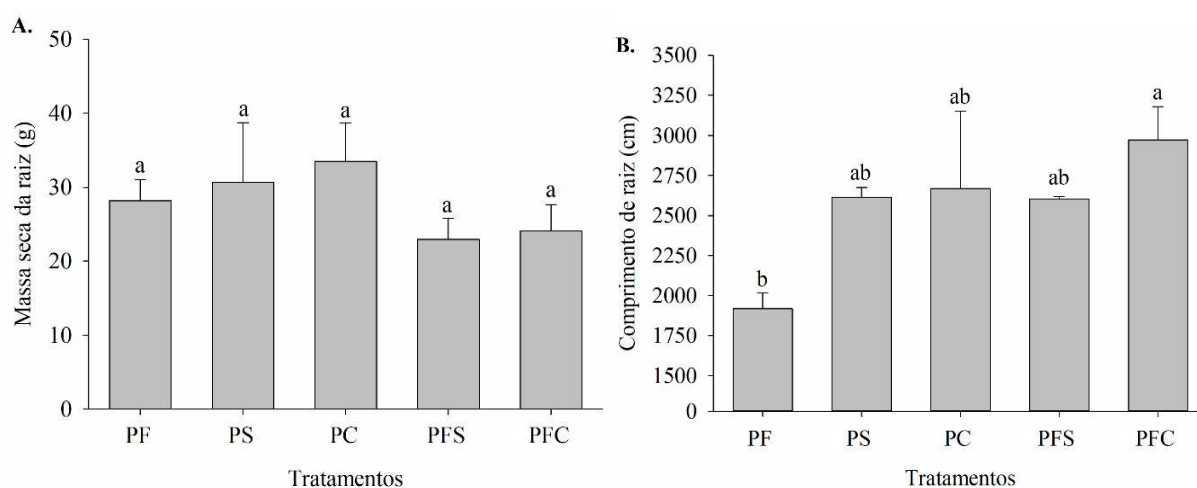


Figura 10. Índice estomático (A), densidade estomática (B), índice estomático total (C), densidade estomático total (D) e área foliar (E) em tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF- ‘Ponkan’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, PS - ‘Ponkan’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, PC - ‘Ponkan’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, PFS - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, PFC - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying’ Dragon e ‘Cravo’.

Nas condições avaliadas, verifica-se que as características da variedade copa mantiveram-se constantes/inalteradas. Assim, se as cultivares utilizadas eram geneticamente estáveis e não apresentavam divergências significativas em relação à anatomia foliar, isso também pode ter contribuído para a ausência de efeitos da enxertia e interenxertia. A manutenção dos processos fisiológicos, como transpiração e fotossíntese, pode ter um papel importante na ausência de alterações nos índices estomáticos, na densidade estomática e na área foliar (Sousa et al., 2019). Morinaga e Ikeda (1990) ressaltam que a densidade estomática é crucial para a fotossíntese, pois estômatos controlam a troca gasosa, permitindo a entrada de dióxido de carbono (CO₂). Nas folhas da tangerineira ‘Satsuma’ enxertadas sobre ‘Laranja Azeda’, a baixa densidade estomática limita a absorção de CO₂, resultando em fotossíntese reduzida. Além disso, a incompatibilidade entre enxerto e porta-enxerto pode prejudicar a conexão vascular, comprometendo o transporte de água e nutrientes, levando ao fechamento estomático e, conseqüentemente, a uma capacidade fotossintética ainda mais baixa.

Os tratamentos não influenciaram a massa seca, área superficial e volume de raiz (Figuras 11A, C e D). A falta de variação no crescimento do sistema radicular pode estar ligada à restrição do seu tamanho devido ao uso de recipientes e até mesmo à pequena influência da copa sobre essas variáveis (Rodrigues et al., 2016). Plantas de tangerineira ‘Ponkan’ interenxertadas sobre trifoliateiro ‘Flying Dragon’ e limoeiro ‘Cravo’ (PFC) tiveram maior comprimento de raiz, com aumento de 26,28% em relação às plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’ (PF) que tiveram o menor comprimento de raiz (Figura 11B).



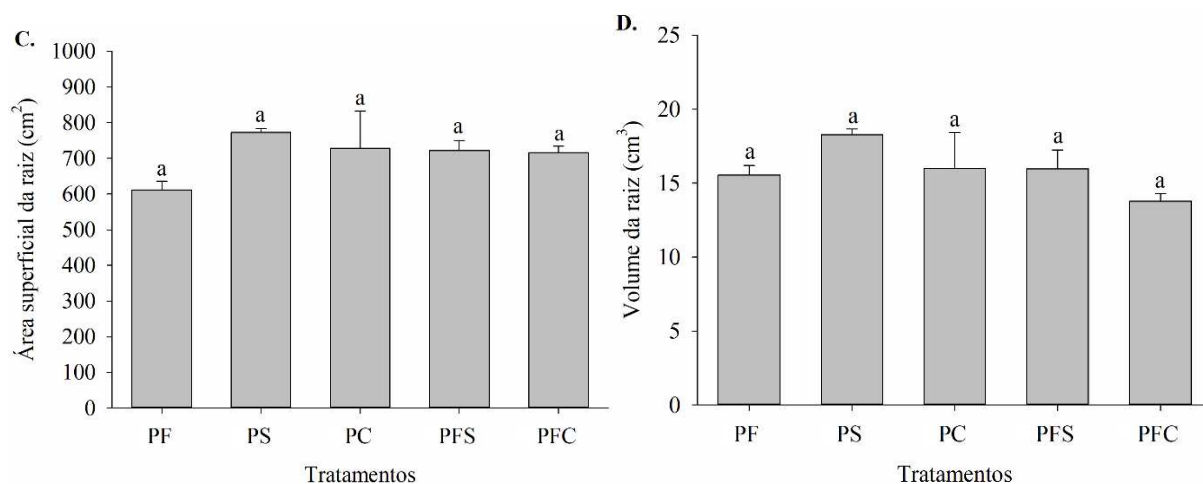


Figura 11. Massa seca da raiz (A), comprimento de raiz (B), área superficial da raiz (C) e volume de raiz (D) em tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF- ‘Ponkan’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, PS - ‘Ponkan’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, PC - ‘Ponkan’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, PFS - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, PFC - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying’ Dragon e ‘Cravo’.

Os fatores genéticos desempenham um papel fundamental na determinação das características das plantas resultantes da enxertia. A escolha dos porta-enxertos e enxertos é crucial, pois diferentes cultivares podem possuir características genéticas distintas que influenciam o desenvolvimento das raízes. A menor sensibilidade do crescimento das plantas pode estar associada à manutenção do reservatório total de carboidratos e a uma grande mudança na partição de carboidratos, com as raízes servindo como principal dreno (Pedroso et al., 2014). Esses mesmos autores relatam ainda que a menor sensibilidade do crescimento das plantas no limoeiro ‘Cravo’ está associada ao maior crescimento radicular, fato também observado neste trabalho para o comprimento da raiz. Conseqüentemente, o tamanho reduzido das raízes e a baixa condutividade hidráulica podem causar déficit hídrico nas folhas durante períodos de alta demanda evaporativa, induzindo ao fechamento dos estômatos. Isso leva a uma diminuição na taxa de assimilação fotossintética, o que pode afetar negativamente o crescimento da planta (Forner-Giner et al., 2014).

Girardi e Mourão-Filho (2006) relataram que, em condições controladas sem estresse, a altura das plantas de laranja ‘Pera’ enxertadas não apresentou variações significativas com o uso de diferentes interenxertos ou porta-enxertos. Isso sugere que, na ausência de fatores estressantes, os fatores genéticos e fisiológicos associados a essas combinações não afetam o crescimento em altura das plantas. No entanto, a exceção observada nas plantas enxertadas sobre porta-enxertos de limoeiro ‘Volkameriano’ indica que esta combinação específica pode ter influências únicas na morfologia da planta, possivelmente devido a interações genéticas ou

anatômicas que favorecem um crescimento superior em comparação com as plantas enxertadas sobre citrumelo ‘Swingle’. Essas diferenças podem estar relacionadas a características específicas de cada porta-enxerto, como a eficiência na absorção de nutrientes ou no transporte de água, que, em última análise, afetam o desenvolvimento da planta. Por sua vez, Treeby e Thornton (1983) relataram que, ao se empregar interenxertos de *Microcitrus* em laranjeiras ‘Valencia’, as plantas resultantes eram substancialmente menores em comparação àquelas submetidas à enxertia sobre *Poncirus trifoliata*, as quais exibiram uma redução moderada na estatura, apesar de a técnica visar à otimização da produtividade e ao incremento no porte vegetativo das plantas.

A interação entre os tecidos do porta-enxerto e enxerto desencadeia uma série de reações bioquímicas que afetam o crescimento e desenvolvimento das raízes (Balfagón et al., 2022). Essa interação modifica os fluxos hormonais, como auxinas e citocininas, regulando o desenvolvimento radicular e a capacidade de absorção de água e nutrientes. Também há ajustes no balanço de nutrientes, promovendo maior eficiência no transporte de elementos essenciais como nitrogênio e fósforo. Além disso, a enxertia ativa mecanismos de defesa, estimulando a produção de compostos antioxidantes e fenólicos que protegem as raízes contra patógenos e estresses abióticos, como seca e salinidade. A expressão gênica também é modulada, com genes relacionados ao crescimento celular sendo ativados ou reprimidos, o que influencia a arquitetura das raízes. A produção de substâncias sinalizadoras, como óxido nítrico e espécies reativas de oxigênio, melhora a comunicação celular e a resposta ao estresse, favorecendo o desempenho da planta e o vigor do sistema radicular. Essa resposta pode estar relacionada à interação entre citocininas, auxinas e giberelinas, por exemplo, assim como o seu transporte entre as partes enxertadas, que influenciam o crescimento radicular (Foster et al., 2017). Além disso, o acúmulo de carboidratos nas raízes pode representar uma estratégia fisiológica para suavizar as mudanças no fornecimento de fotoassimilados em citros, melhorando o crescimento das raízes e a absorção de água em condições restritivas (Silva et al., 2021). As combinações de enxertos e porta-enxertos afetam a arquitetura da copa e a distribuição do sistema radicular, podendo induzir a tolerância das plantas à seca devido à eficiência na absorção de água e nutrientes minerais pelas raízes e ao maior rendimento da cultura (Santos et al., 2019). Outros estudos demonstraram uma regulação eficaz da alocação de carbono por meio da enxertia, o qual influenciou o crescimento das raízes sob condições de seca em citros (Pedroso et al., 2014; Silva et al., 2021).

O diâmetro caulinar do porta-enxerto foi semelhante em todos os tratamentos (Figura 12A). O diâmetro do interenxerto foi maior em ‘Ponkan’ interenxertada sobre trifoliateiro

‘Flying Dragon’ e limoeiro ‘Cravo’ (PFC), sendo 33,07%, 21,12% e 18,08% maior que plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’ (PF), enxertada sobre limão ‘Cravo’ (PC) e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ (PFS), respectivamente (Figura 12B). O diâmetro caulinar da cultivar copa foi maior em plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’, sendo 35,34% maior que em plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’ que tiveram menor diâmetro (Figura 12C). Este maior diâmetro pode estar relacionado ao fato que o trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’ possui um efeito de nanismo (Stuchi, 2012), o que pode estar associado à diminuição do crescimento da parte aérea durante a fase de muda (Rodrigues et al., 2016).

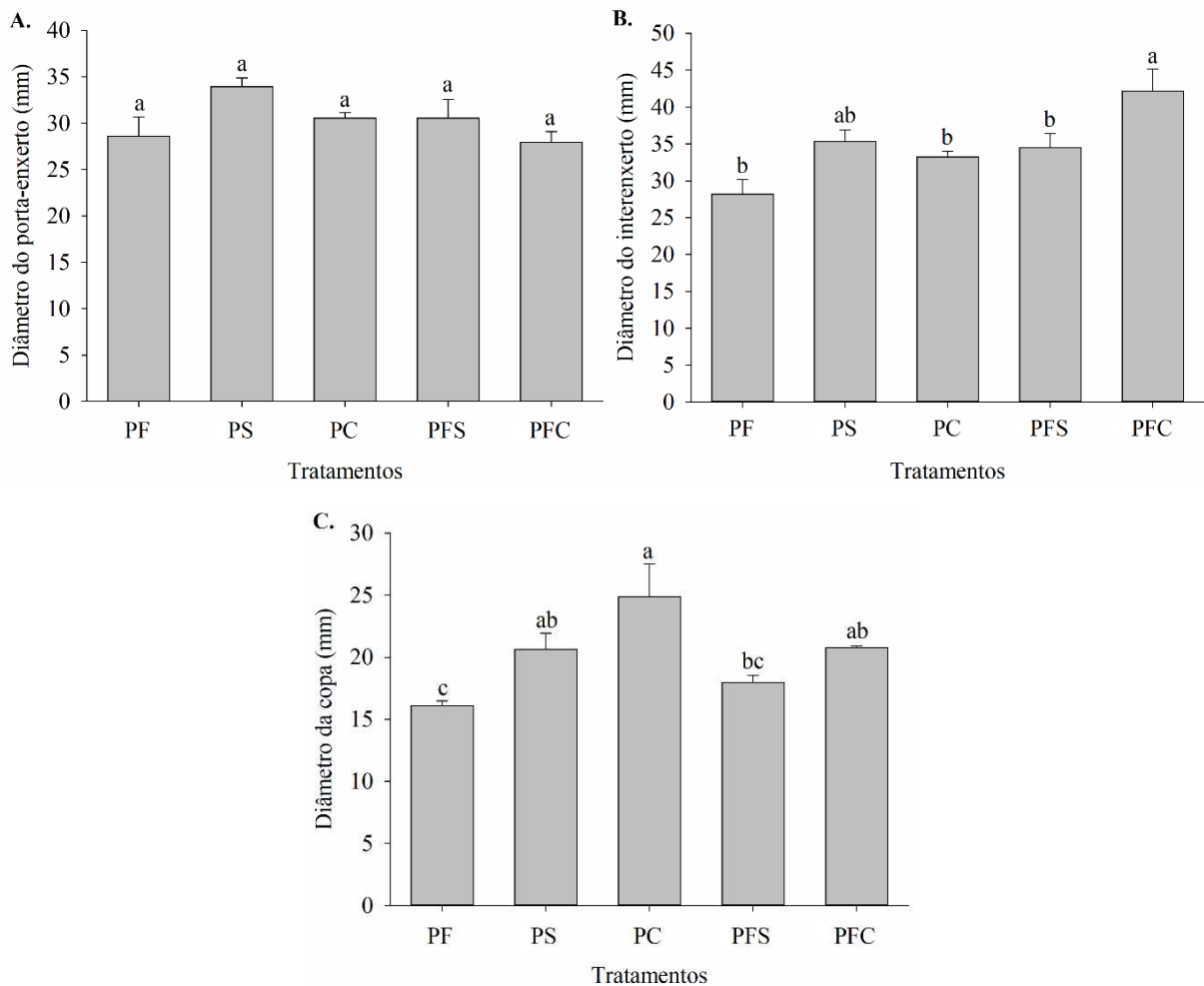


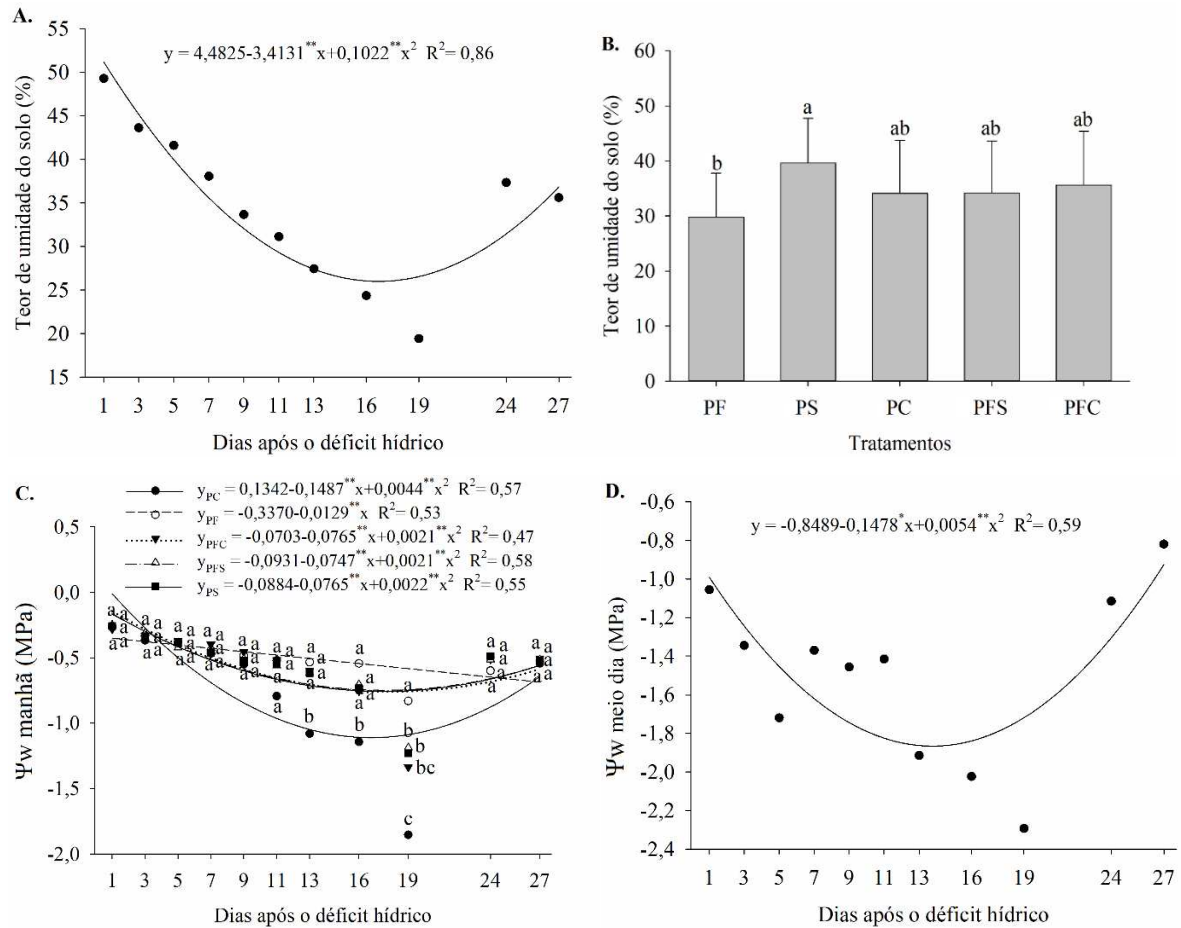
Figura 12. Diâmetro caulinar do porta-enxerto (A), diâmetro caulinar do interenxerto (B) e diâmetro caulinar da copa (C) em tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF - ‘Ponkan’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, PS - ‘Ponkan’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, PC - ‘Ponkan’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, PFS - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, PFC - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying’ Dragon e ‘Cravo’.

A similaridade no diâmetro caulinar do porta-enxerto em todos os tratamentos sugere que a escolha dos porta-enxertos utilizados não teve um impacto significativo no crescimento

secundário do caule (crescimento lateral). Tal uniformidade pode ter contribuído para a estabilidade do diâmetro do porta-enxerto em todos os grupos estudados. Por outro lado, os diferentes diâmetros observados no interenxerto e na copa entre os diferentes tratamentos, indicam uma influência dos fatores genéticos associados aos porta-enxertos e enxertos utilizados. No caso do interenxerto, sua maior largura nas tangerineiras interenxertadas sobre trifoliato 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' pode refletir características específicas dessas cultivares, que promovem um crescimento mais robusto do caule nessa região. Tais características genéticas podem estar intrinsecamente ligadas aos processos de desenvolvimento e crescimento do tecido vascular, afetando de forma direta o diâmetro do interenxerto. Ademais, a redução no crescimento deve-se ao retardamento no desenvolvimento, que decorre não apenas da própria aplicação da técnica, mas também de fatores mecânicos e fisiológicos associados à presença do interenxerto (Barreiros, 2021). A prática de interenxertia diminuiu o crescimento de pessegueiro 'Tropical' e 'Ouromel-2' (Scarpore Filho et al., 2000), mangueira 'Irwin' e 'Keitt' (Yonemoto et al., 2004) e caqui 'Fuyu' (Koshita et al., 2007).

Quanto ao diâmetro do caule da copa, a maior medida nas plantas enxertadas sobre limoeiro 'Cravo', em comparação com aquelas enxertadas sobre 'Flying Dragon', sugere que o porta-enxerto desempenha um papel significativo na determinação do tamanho e expansão deste parâmetro. O limão 'Cravo' pode possuir características genéticas que promovem um crescimento mais vigoroso e uma maior expansão dos ramos, resultando em uma copa mais larga em comparação com as plantas enxertadas sobre 'Flying Dragon'. Isso pode estar atrelado ao fato dos interenxertos afetarem a translocação de água, nutrientes, hormônios vegetais e outras substâncias, podendo, portanto, atuar também no crescimento, na floração e na frutificação do enxerto (Hartman et al., 2011). Barreiros (2021) destaca que plantas de 'Murcott' interenxertadas com 'Flying Dragon' tiveram redução no crescimento durante a fase de desenvolvimento das mudas. Reduções no comprimento das plantas foram observadas em laranja 'Navelina' e de limoeiro 'Kütdiken' com interenxerto de 'Flying Dragon' e enxertadas em laranja 'Azeda' (Kamiloglu e Yesiloglu, 2014). Yilmaz et al. (2015) indicaram que o interenxerto de toranja 'Star Ruby' afetou o crescimento das plantas de limão 'Kütdiken', atribuindo esse efeito a diferenças fisiológicas e bioquímicas entre as duas variedades. Frente aos resultados de PFS e PFC, observamos que, além de uma tendência de redução do crescimento do caule com o uso de 'Flying Dragon' como interenxerto, existe também uma interação onde é possível que o desenvolvimento das plantas seja semelhante as demais alternativas de enxertia.

O teor de umidade do solo e potencial hídrico foliar ao meio dia tiveram efeito isolado para os fatores avaliados, enquanto o potencial hídrico foliar pela antemanhã teve interação entre os fatores. O teor de umidade do solo diminuiu com os dias após o corte da irrigação, sendo o menor teor (18,87%) observado aos 19 dias após o déficit hídrico, elevando-se após a irrigação (Figura 13A).



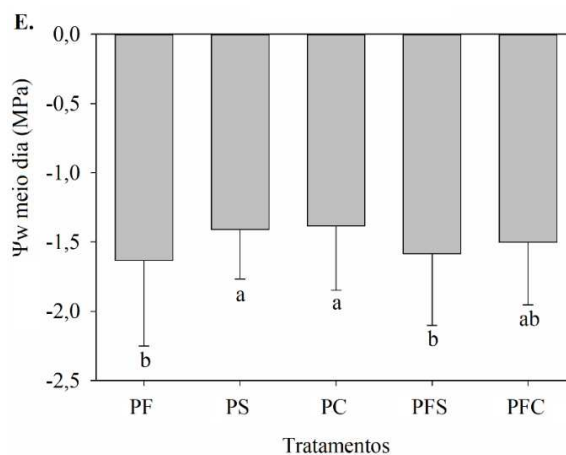


Figura 13. Teor de umidade do solo (A e B) e potencial hídrico foliar pela antemanhã (C) e ao meio-dia (D e E) em tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’ em função dos dias após déficit hídrico (dias após o corte da irrigação). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF- ‘Ponkan’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, PS - ‘Ponkan’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, PC - ‘Ponkan’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, PFS - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, PFC - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying’ Dragon e ‘Cravo’.

O menor teor de umidade foi observado em plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’, enquanto o maior teor foi em plantas enxertadas sobre ‘Swingle’ (Figura 13B). O potencial hídrico foliar pela antemanhã também teve reduções com os dias após o corte da irrigação, restabelecendo-se após o retorno da irrigação, exceto em plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’. Os menores valores de potencial hídrico foram observados em plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’ aos 13, 16 e 19 dias de avaliação após o corte da irrigação, diferindo dos demais tratamentos (Figura 13C).

O potencial hídrico ao meio-dia também diminuiu com os dias após o corte da irrigação, sendo o menor teor (-2,29 MPa) observado aos 19 dias de avaliação, elevando-se após a irrigação (Figura 13D). O menor potencial hídrico foliar ao meio dia foi observado em plantas enxertadas sobre limão ‘Cravo’, sendo 13,60 e 15,26% menor em relação as plantas enxertadas sobre ‘Flying Dragon’, assim como interenxertada sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’ e limoeiro ‘Cravo’, respectivamente, que tiveram maior potencial (Figura 13E). Esse comportamento pode ser devido a enxertia criar uma resistência à água na junção entre o enxerto e o porta-enxerto, o que pode afetar negativamente o transporte de água na planta (Cohen et al., 2007). A resistência à água na junção entre o enxerto e o porta-enxerto ocorre devido a dificuldades na formação adequada de conexões vasculares entre as duas partes. Durante o processo de enxertia, a fusão dos tecidos do enxerto e do porta-enxerto depende da regeneração

dos vasos condutores, como o xilema, que é responsável pelo transporte de água das raízes para a parte aérea da planta. Se essa regeneração for incompleta ou ineficiente, cria-se uma barreira parcial, aumentando a resistência ao fluxo de água na junção. A maior capacidade deste porta-enxerto para recuperar o status hídrico após o estresse pode estar relacionada à sua habilidade de extração de água do solo (Santos et al., 2019). Além disso, a tolerância à seca pode estar associada ao ajuste osmótico por meio do acúmulo de solutos compatíveis, manutenção do turgor celular, suporte às funções metabólicas e fisiológicas, mesmo com baixo potencial hídrico, que facilita a manutenção do crescimento das folhas e raízes e aumenta a eficiência de absorção de água do solo em condições de seca e após a reidratação (Santana-Vieira et al., 2016).

Essas variações podem influenciar diretamente a resposta das plantas ao déficit hídrico, afetando o teor de umidade do solo. Estas respostas podem estar relacionadas à redução na condutância hidráulica das raízes em condições de déficit hídrico que são associadas a modificações anatômicas substanciais, como o desenvolvimento de bandas de Caspary e lamelas de suberina na exoderme e endoderme, e à diminuição da atividade de aquaporinas (Martínez-Cuenca et al., 2016). As aquaporinas desempenham um papel crucial em plantas sob déficit hídrico, facilitando o transporte de água através das membranas celulares. Elas são proteínas de membrana que formam canais altamente seletivos, permitindo a rápida movimentação de moléculas de água dentro das células e entre os diferentes tecidos da planta. Sob condições de estresse hídrico, as aquaporinas ajudam a regular a entrada e saída de água nas células, contribuindo para a manutenção do equilíbrio hídrico e a adaptação da planta à seca. Durante o déficit hídrico, a expressão e a atividade das aquaporinas podem ser moduladas, ajustando o transporte de água para minimizar a perda e maximizar a absorção. Elas atuam principalmente nas raízes, facilitando a captação de água residual do solo, e nas folhas, regulando a transpiração e o fechamento estomático. Dessa forma, as aquaporinas ajudam a planta a manter sua função fisiológica e sobreviver em condições de baixa disponibilidade de água. Assim como, maiores relações raiz-parte aérea, menos e menores folhas, concentração de solutos e carboidratos e aumento da atividade de enzimas antioxidantes (Lei et al., 2006).

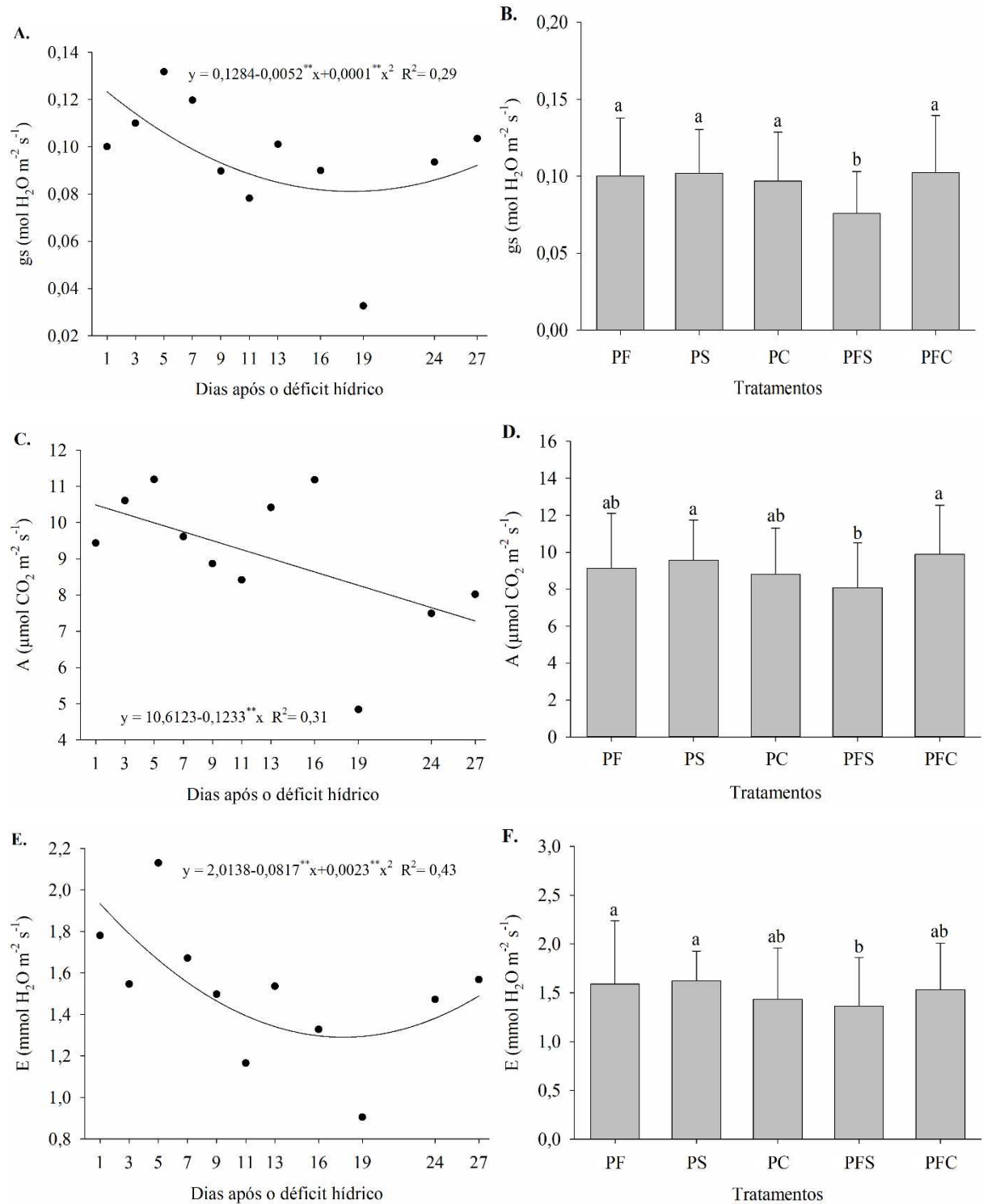
Em relação ao potencial hídrico foliar pela antemanhã, as reduções observadas após o corte da irrigação e o restabelecimento após o retorno da irrigação indicam a sensibilidade das plantas ao estresse hídrico. A maior diminuição do potencial hídrico foliar em plantas enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' sugere uma resposta mais acentuada a esse estresse, possivelmente devido a enxertia poder criar resistência à água na junção entre o enxerto e o porta-enxerto, o que pode afetar o transporte de água na planta (Cohen et al., 2007). A

resistência à água na região do enxerto ocorre devido a vários fatores. A incompatibilidade tecidual pode comprometer a formação de vasos condutores, criando lacunas que dificultam o fluxo de água. Além disso, a formação de bolhas de ar e tecido cicatricial pode obstruir o transporte hídrico. Alterações na composição química dos tecidos da junção também podem afetar a permeabilidade. Por fim, o estresse hídrico pode reduzir a atividade das aquaporinas, proteínas responsáveis pelo transporte de água. Esses fatores resultam em uma diminuição do potencial hídrico foliar, tornando as plantas enxertadas mais suscetíveis ao estresse hídrico. As reduções no potencial hídrico foliar indicam ajustes fisiológicos à baixa disponibilidade de água, que visam reajustar a demanda e o fornecimento de energia (Muller et al., 2011; Silva et al., 2021).

O menor potencial hídrico foliar ao meio-dia em plantas enxertadas sobre o limoeiro 'Cravo' indica que essas plantas perdem mais água nas horas de maior demanda evaporativa, o que sugere uma maior sensibilidade ao estresse hídrico. Isso significa que o porta-enxerto 'Cravo' pode ter uma menor eficiência em manter o equilíbrio hídrico das plantas sob condições de alta exigência por água. Essa característica pode estar relacionada a fatores genéticos específicos dessa cultivar, que afetam a capacidade de absorção e transporte de água, bem como a resposta a períodos de seca ou de alta evapotranspiração. Por outro lado, as plantas enxertadas sobre 'Flying Dragon' e a combinação interenxertada sobre 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' apresentaram maior potencial hídrico, indicando uma possível maior resistência ao estresse hídrico, influenciada por suas características genéticas. A resposta morfogenética em plantas induzida pelo estresse pode ocorrer devido a inibição da elongação celular, estímulos localizados para a divisão celular e alteração no estado de diferenciação celular (Potters et al., 2007). Além disso, o ajuste do número e diâmetro dos vasos lenhosos, a distribuição dos vasos lenhosos e a condutividade hidráulica podem estar associados às características dos genótipos quanto à interação genótipo-ambiente, sendo que a diferenciação dos vasos lenhosos é alterada e contribui para a tolerância aos danos causados pelo déficit hídrico (Bueno et al., 2020). As diferenças no potencial hídrico ao meio-dia podem estar relacionadas também à capacidade das plantas em regular a transpiração e a absorção de água, influenciadas por diferentes mecanismos bioquímicos de regulação do balanço hídrico.

A condutância estomática (g_s) e transpiração (E) foram afetadas negativamente pelo déficit hídrico, sendo os menores valores ($0,033 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $0,905 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) observados aos 19 dias após o déficit hídrico. Após a irrigação, os valores dessas variáveis iniciaram o restabelecimento (Figuras 14 A e C). A fotossíntese líquida (A) diminuiu com o déficit hídrico e não foi restabelecida após a irrigação (Figura 14C). Plantas interenxertadas

sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ tiveram menores valores de g_s , E e A (Figuras 14B, D e F). Notavelmente, o índice SPAD não foi influenciado pelos fatores avaliados (Figuras 14G e H), indicando que, apesar das variações em g_s e E , a eficiência fotossintética permaneceu relativamente estável em certas condições, ressaltando a resiliência de algumas plantas ao estresse hídrico.



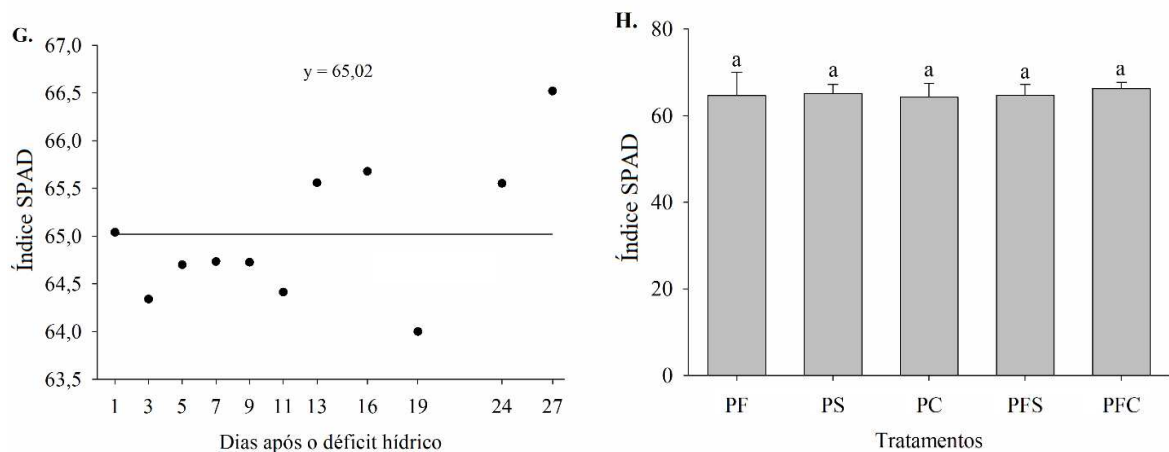


Figura 14. Condutância estomática (gs – A e B), fotossíntese líquida (A – C e D), transpiração (E – E e F) e índice SPAD (G e H) em tangerineira ‘Ponkan’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’ em função dos dias após déficit hídrico (dias após o corte da irrigação). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). PF- ‘Ponkan’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, PS - ‘Ponkan’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, PC - ‘Ponkan’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, PFS - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, PFC - ‘Ponkan’ interenxertada sobre ‘Flying’ Dragon e ‘Cravo’.

Plantas de citros reduzem a condutância estomática, taxa de transpiração e fotossíntese líquida quando submetidas ao déficit hídrico (Martínez-Cuenca et al., 2016). Isso é, porque a seca induz o fechamento estomático, reduz a captação de CO_2 e a atividade fotossintética, aumenta o estresse oxidativo e causa danos às membranas (Vincent et al., 2020). A menor gs, E e A observada em plantas interenxertadas sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ sugere que essas cultivares podem ser menos adaptadas ao estresse hídrico em comparação com outros porta-enxertos. Resultados diferentes foram encontrados por Barreiros (2021), os quais destacaram que o interenxerto com ‘Flying Dragon’ aumentou a fotossíntese líquida das plantas de tangoreiro ‘Murcott’ enxertadas sobre citromeleiro ‘Swingle’ cultivado sem estresse. Resultados semelhantes aos encontrados por Kamiloglu e Yesiloglu (2014) em laranja ‘Navelina’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e enxertada em laranja. O aumento da resistência ao déficit hídrico induzido por secas recorrentes, frequentemente está relacionado a mecanismos epigenéticos, os quais podem ser considerados uma “memória” do estresse (Faria-Silva e Silva, 2023).

Além disso, esse fato pode estar relacionado às técnicas usadas na produção de mudas interenxertadas (encostia, borbulhia, anelamento e estrangulamento) que podem reduzir a assimilação de carbono fotossintético por efeitos estomáticos e não estomáticos (anelamento) e reduzir a transpiração (Lu et al., 2017). A falta de restabelecimento da fotossíntese após a

reidratação indica uma possível incapacidade das plantas em recuperar totalmente suas atividades metabólicas após um período prolongado de estresse hídrico, o que pode estar relacionado a alterações bioquímicas nos processos fotossintéticos. Cerqueira et al. (2004) estudando seis genótipos de citros destacaram que os híbridos HTR-051, TSK × CTTR-017 e TSK × CTTR-002, assim como a laranjeira 'Azeda', demonstram maior capacidade de recuperação após períodos de déficit hídrico, mantendo as trocas gasosas e a produção de matéria seca.

As variações na gs, E e A refletem a resposta das plantas ao estresse hídrico em termos de regulação da transpiração e da taxa de fotossíntese. A redução dessas variáveis em resposta ao déficit hídrico sugere uma estratégia adaptativa das plantas para minimizar a perda de água e otimizar o uso de recursos em condições de escassez. Essa diminuição pode estar relacionada à redução da condutividade hidráulica das raízes, conforme observado por Martínez-Alcántara et al. (2013), que ocorre devido à diminuição do potencial hídrico do solo. Essa adaptação permite que as plantas mantenham sua integridade fisiológica e sobrevivam em ambientes desafiadores, evidenciando sua capacidade de resposta a condições adversas. Podendo ter ocorrido restrição no movimento da seiva do xilema e, conseqüentemente, aumentou a resistência ao movimento da água para as folhas sob intensa demanda atmosférica por água (Sousa et al., 2019). No entanto, a incapacidade de restabelecimento da fotossíntese após a irrigação sugere que as plantas podem não ter sido capazes de recuperar totalmente suas atividades fotossintéticas devido a danos fisiológicos ou bioquímicos causados pelo estresse hídrico prolongado.

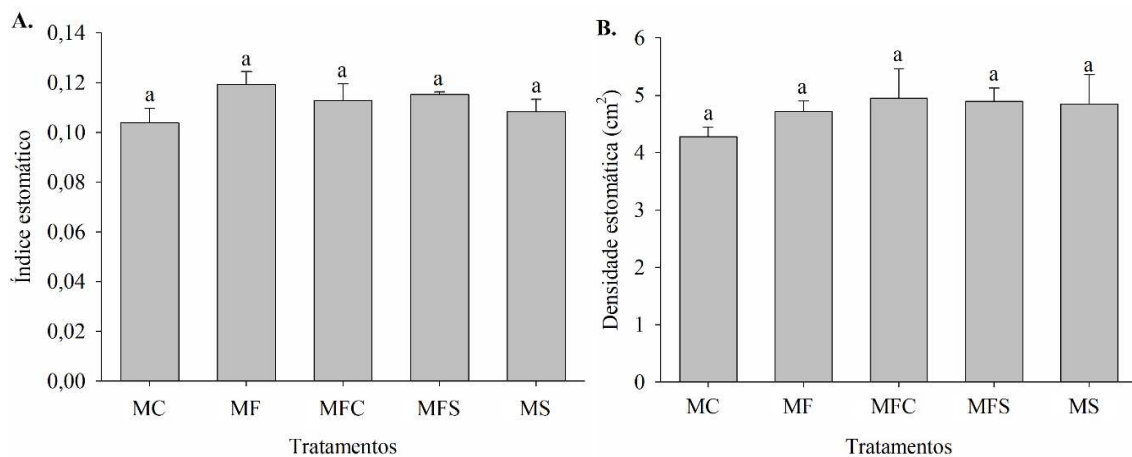
Esse comportamento da redução e não estabelecimento da fotossíntese pode estar associado ao fechamento estomático, resultando em uma redução na captação de CO₂ que prejudica a fotossíntese (Shafqat et al., 2019). Espécies reativas de oxigênio (EROs, como o peróxido de hidrogênio, superóxido, oxigênio singlete e radical hidroxila) são produzidas em excesso e se acumulam nas células vegetais em condições de déficit hídrico (Xiong et al., 2020). A fotoinibição ou fotoxidação causada pelo acúmulo de EROs leva à oxidação não controlada dos componentes fotossintéticos (Shafqat et al., 2021) que dificultam a assimilação de CO₂, ou seja, diminui a taxa fotossintética.

Quanto ao índice SPAD, a falta de influência dos fatores avaliados sugere que a concentração de clorofila nas folhas não foi afetada pelo déficit hídrico ou pela enxertia e interenxertia. Isso pode indicar uma estabilidade na integridade das células e no funcionamento dos cloroplastos, independentemente das condições hídricas ou do tipo de enxerto utilizado, que pode ser uma forma de aclimação ao déficit hídrico (Zaefyzadeh et al., 2009). O maior

teor de clorofila está associado a uma maior capacidade fotossintética, o que, por sua vez, contribui para um aumento na produção de açúcares e outras substâncias orgânicas. Esses compostos são essenciais para o funcionamento celular e para a regulação do equilíbrio hídrico. A fotossíntese eficiente proporciona energia e metabolitos que são utilizados para sintetizar compostos osmóticos, essenciais para o ajuste osmótico da planta. Esse ajuste osmótico é uma adaptação fisiológica crucial ao déficit hídrico, pois permite que as plantas aumentem a concentração de solutos em suas células, facilitando a extração de água de solos secos e mantendo o turgor celular mesmo sob condições de baixa disponibilidade de água. Com um turgor celular adequado, as plantas conseguem sustentar processos vitais e evitar a desidratação, promovendo, assim, uma absorção eficiente de água pelas raízes (Miranda et al., 2021).

Experimento 2

O índice estomático, densidade estomática, índice estomático total, densidade estomática total e área foliar do tangoreiro ‘Murcott’ não foram influenciados pela enxertia e interenxertia (Figura 15). Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que essas plantas ainda não se encontravam sob condição de déficit hídrico (Opazo et al., 2020) e terem o mesmo enxerto. Logo, o porta-enxerto e interenxerto não modifica o comportamento dos estômatos e área foliar, nas condições do estudo.



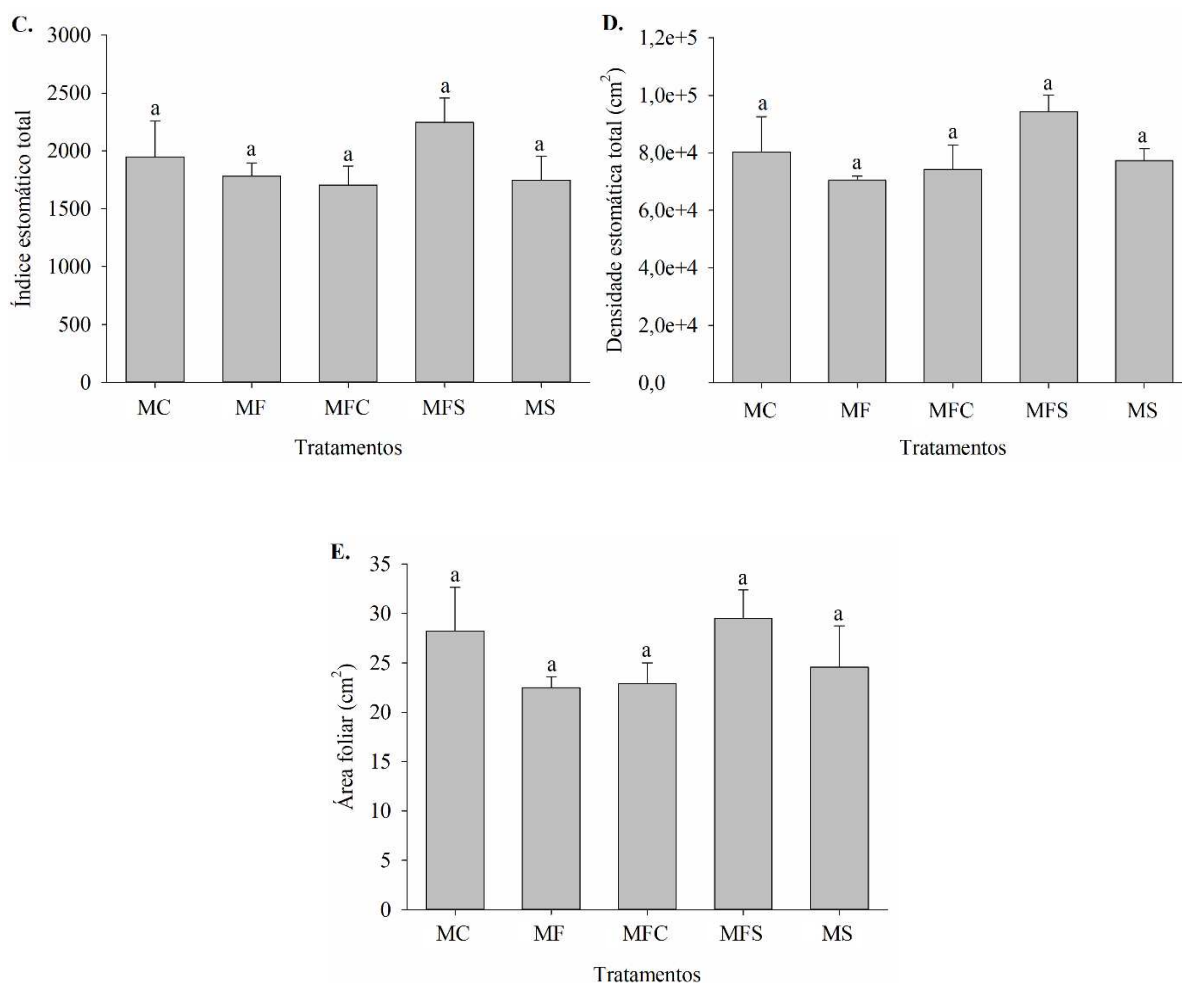


Figura 15. Índice estomático (A), densidade estomática (B), índice estomático total (C), densidade estomática total (D) e área foliar (E) em tangoreiro ‘Murcott’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MC - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, MF- borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, MFC - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’, MFS - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, MS - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’.

A prática da enxertia e interenxertia não influenciaram a massa seca, comprimento, área superficial e volume da raiz (Figura 16). Os porta-enxertos e interenxertos não modificaram o crescimento da planta e isso pode estar relacionado às características genéticas do material utilizado. E isso pode ser uma das explicações para o presente estudo, principalmente o crescimento da raiz, visto que o enxerto foi o mesmo em todos os tratamentos.

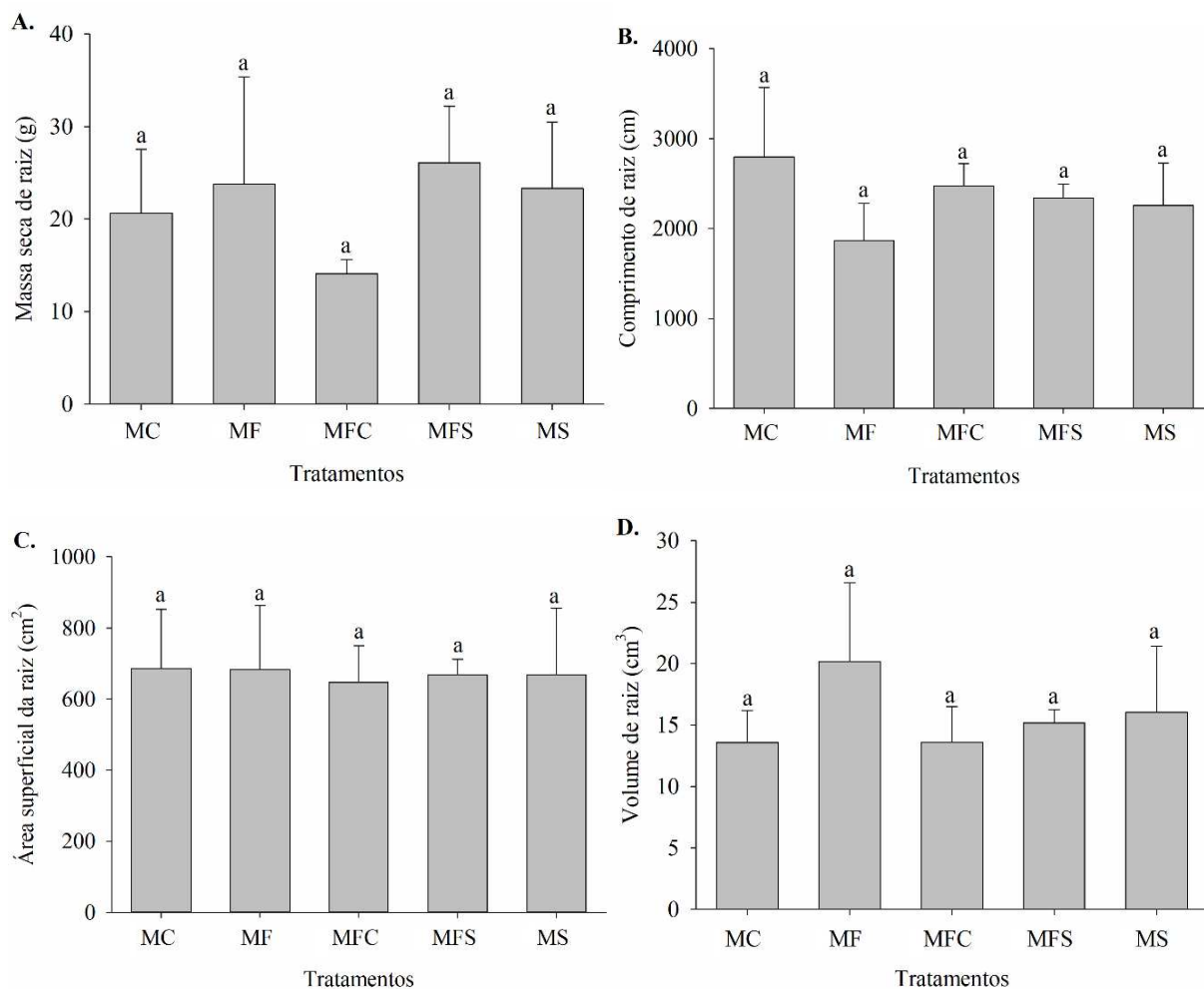


Figura 16. Massa seca da raiz (A), comprimento de raiz (B), área superficial da raiz (C) e volume de raiz (D) em tangoreiro ‘Murcott’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MC - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, MF - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, MFC - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’, MFS - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, MS - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’.

O conhecimento sobre o impacto do porta-enxerto no crescimento vegetativo da copa de citros é importante, pois pode ser utilizado para programar a densidade de plantio de novos pomares, bem como a poda, adubação e colheita, além de aperfeiçoar programas de manejo de pragas e doenças (Forner-Giner et al., 2014; Carvalho et al., 2021). Neste trabalho, o diâmetro do porta-enxerto foi maior em plantas de tangoreiro ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ (MFS), sendo 29,25% maior que plantas de tangoreiro ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’ (MFC) que teve o menor diâmetro (Figura 17A). O diâmetro do interenxerto também foi maior em MFS, sendo 25,11% e 23,60% superior que em plantas de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ (MC) e ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’ (MF), respectivamente, que apesar de não terem o interenxerto, foram

realizadas as medidas na linha de soldadura da enxertia (Figura 17B). Já o diâmetro do enxerto foi maior em plantas MC, com superioridade de 34,16% em relação a plantas MF (Figura 17C).

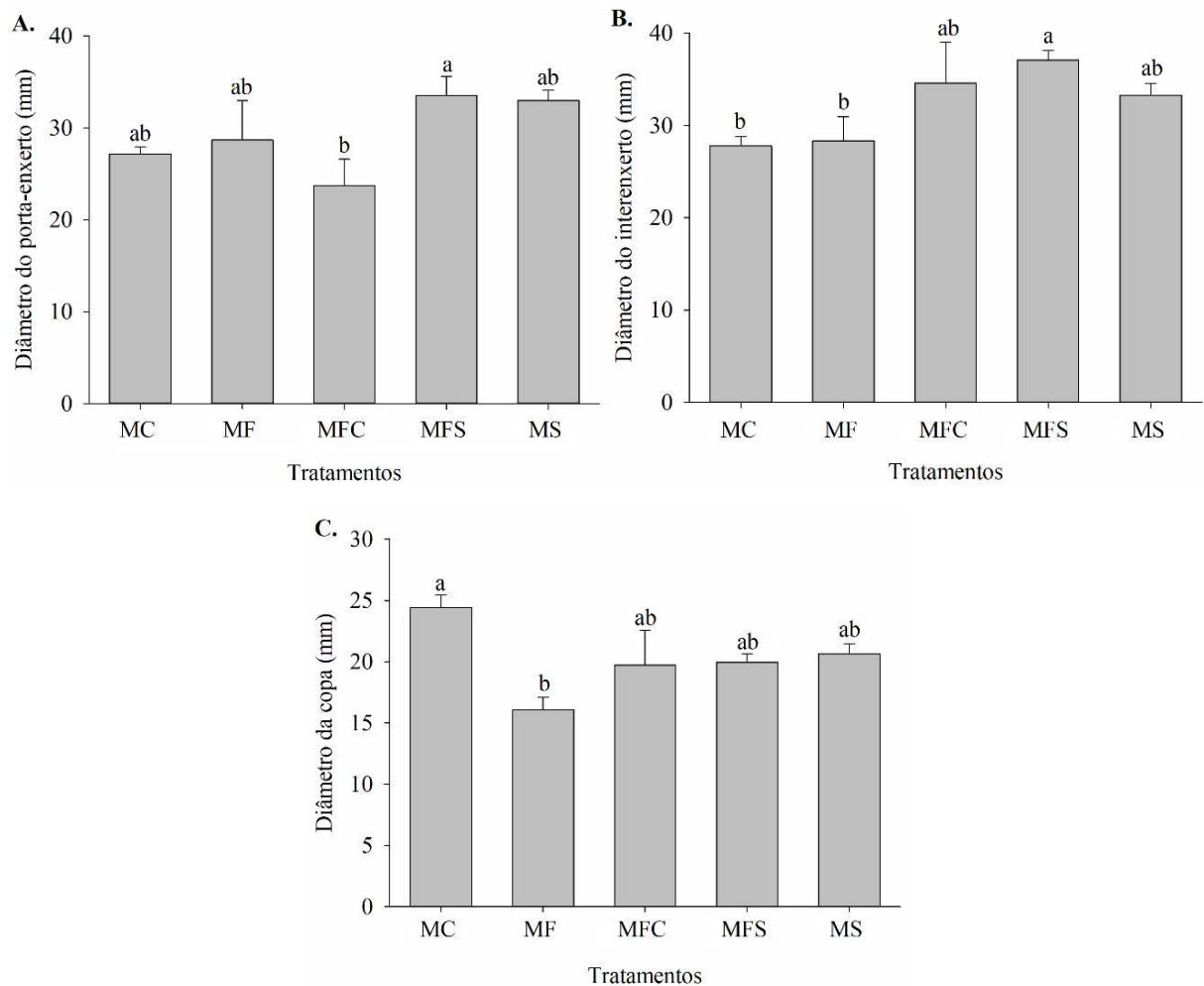
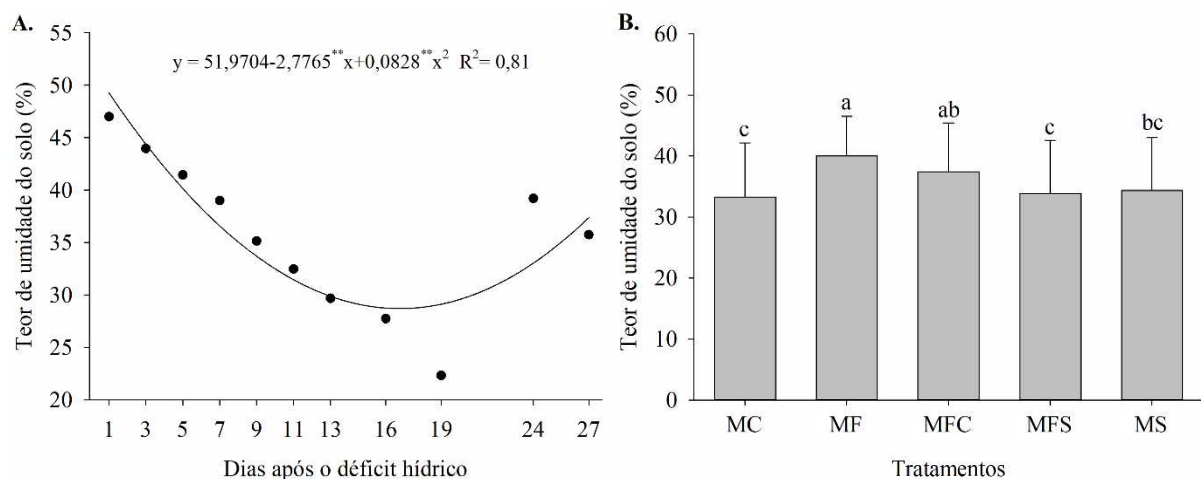


Figura 17. Diâmetro caulinar do porta-enxerto (A), diâmetro caulinar do interenxerto (B) e diâmetro caulinar da copa (C) em tangoneiro ‘Murcott’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MC - borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, MF- borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, MFC - borbulia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’, MFS - borbulia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, MS - borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’.

O controle do tamanho da planta é um dos efeitos mais eficazes do porta-enxerto em frutíferas (Khankahdani et al., 2019). As interações entre o porta-enxerto e o enxerto pode alterar o tamanho e o crescimento, tendo em vista que o porta-enxerto modifica o vigor de crescimento da cultivar copa (Atkinson e Else, 2001). Os porta-enxertos influenciam as características morfológicas das plantas enxertadas, entre as quais a redução do vigor da copa é um dos fenômenos mais proeminentes (Hayat et al., 2021). Plantas enxertadas em porta-enxertos mais altos apresentavam aumento no comprimento do broto principal e no diâmetro do porta-enxerto (Gjamovski et al., 2011). Contudo, porta-enxertos anões ou intermediários

modificam a arquitetura dos brotos ao reduzir o comprimento do broto principal, número de nós e comprimento intermodal (Zhou et al., 2021). Menor volume de copa foi observado em limeira ácida ‘Tahiti’ interenxertadas com ‘Flying Dragon’ e enxertadas sobre citrumeleiro ‘Swingle’ (Espinoza-Núñez et al., 2011). Soares et al. (2015) ressaltaram em seu trabalho que, a limeira ácida ‘Tahiti’ teve um maior potencial de crescimento em condições de estresse hídrico. Girardi e Mourão-Filho (2006) relataram que os interenxertos de tangerina ‘Sunki’ induziram diâmetros de caule menores do porta-enxerto quando comparados aos intermediários de laranja Pera e Valencia. Estudo realizado por Donato et al. (2007) evidenciaram que, sob déficit hídrico severo, as cultivares copa enxertadas sobre o limoeiro ‘Cravo’ tiveram maior desenvolvimento da copa em comparação com o citrumeleiro ‘Swingle’.

O teor de umidade do solo diminuiu com os dias após a suspensão da irrigação (déficit hídrico), tendo o menor valor (22,32%) aos 19 dias de avaliação, aumentando quando as plantas foram irrigadas (Figura 18A). O solo com plantas de MF permaneceu com maior teor de umidade (40,04%), sendo superior em 16,84% e 15,46% em relação às plantas MC e MFS (Figura 18B). O Ψ_w da folha pela antemã teve interação entre os fatores estudados. Plantas de MFS, MFC, MF e MS tiveram menor potencial aos 19 dias de avaliação, contudo, essa variável foi restabelecida após a irrigação em todos os tratamentos (Figura 18C). O déficit hídrico influenciou negativamente o Ψ_w da folha ao meio dia, sendo que o menor Ψ_w (-2,29 MPa) foi observado aos 19 dias de avaliação após a suspensão da irrigação (Figura 18D). Plantas de MF mantiveram seu Ψ_w maior (28,06%) em relação às plantas MFS que tiveram menor Ψ_w (Figura 18E).



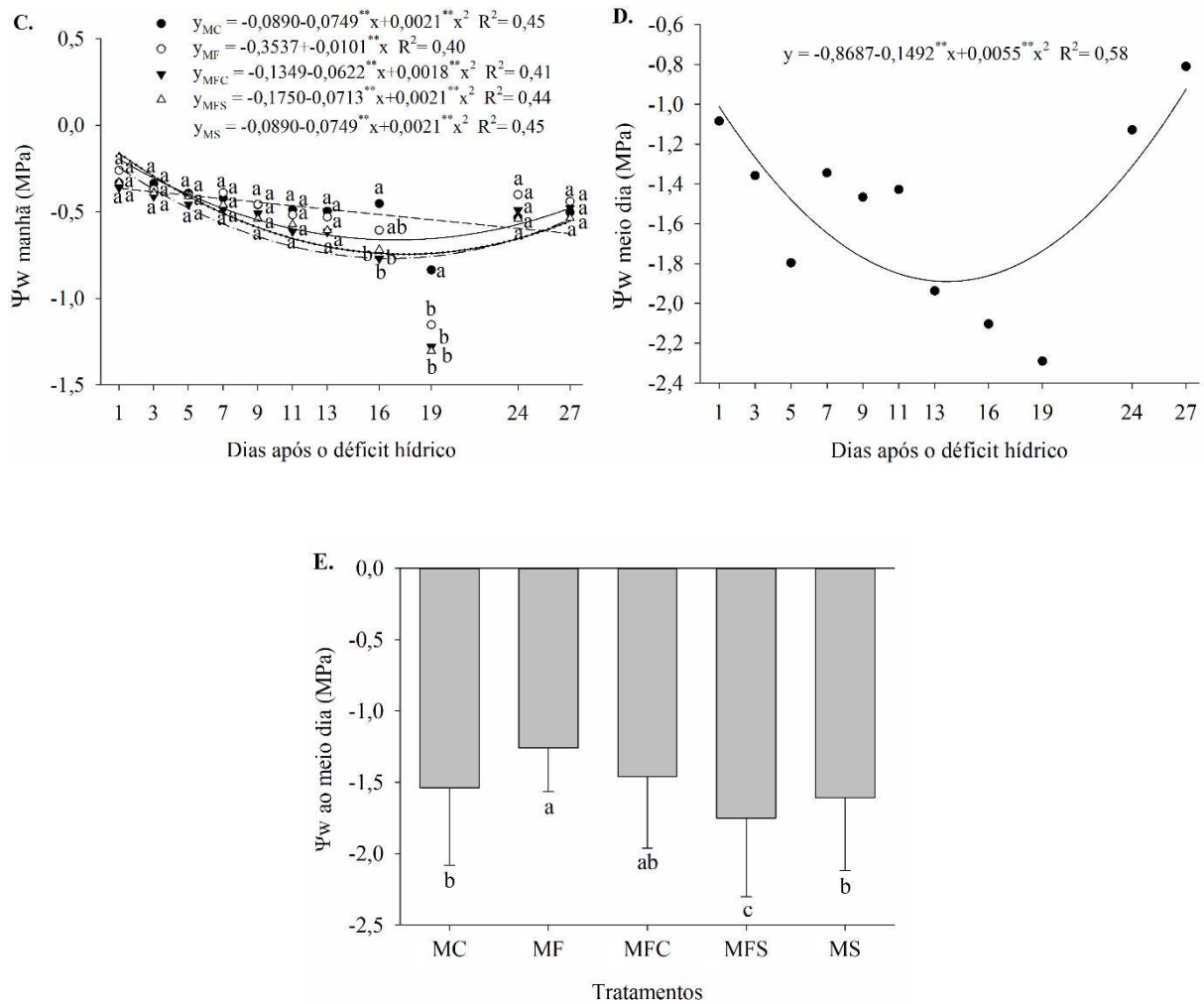


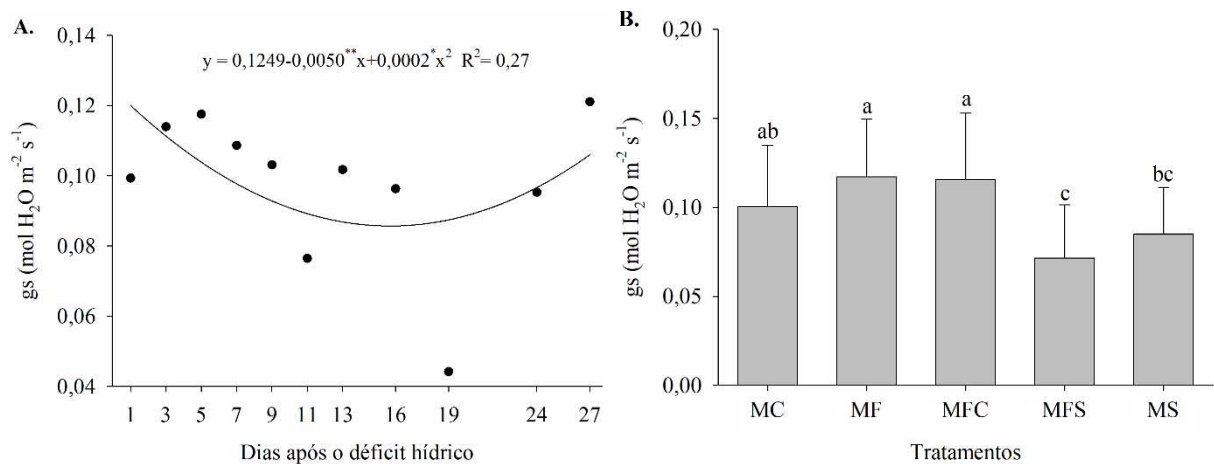
Figura 18. Teor de umidade do solo (A e B) e potencial hídrico foliar pela antemanhã (C) e ao meio-dia (D e E) em tangoreiro ‘Murcott’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MC - borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, MF - borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, MFC - borbulia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’, MFS - borbulia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, MS - borbulia de ‘Murcott’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’.

O Ψ_w em folhas diminuiu devido à baixa disponibilidade de água na zona radicular em consequência dos efeitos combinados da transpiração (E) e das limitações de água no solo (Salem-Fnayou et al., 2016). Uma diminuição do Ψ_w sob estresse hídrico também pode estar relacionada ao ajuste osmótico (Hummel et al., 2010). Esse comportamento também foi observado por outros pesquisadores em laranja ‘Valência’ enxertada em limoeiro ‘Rangpur’ (Medina e Machado, 1998; Machado et al., 1999; Santana-Vieira et al., 2016).

O Ψ_w nas folhas foi recuperado após o retorno da irrigação e isso pode confirmar a relação com o ajuste osmótico, que é considerado uma adaptação fisiológica importante à deficiência de água (Bartlett et al., 2012), pois melhora a extração de água de solos secos e mantém o turgor celular, assim como, mantém o crescimento e regula as trocas gasosas foliares

sob baixa disponibilidade de água (Miranda et al., 2021). Desta forma, tais genótipos têm potencial para crescerem em ambientes com déficit hídrico moderado, sendo uma estratégia para melhorar o seu desempenho agrônômico (Silva et al., 2019). Os efeitos do estresse hídrico são influenciados por diversos fatores, incluindo o genótipo da planta, a intensidade e a duração do estresse, além das memórias de episódios hídricos anteriores que a planta pode ter experimentado (Faria-Silva e Silva, 2023).

A condutância estomática diminuiu com os dias após o corte da irrigação, tendo o menor valor ($0,044 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) aos 19 dias de avaliação. A gs foi reestabelecida após o retorno da irrigação (Figura 19A). Plantas de MF e MFC tiveram maior gs, enquanto plantas MFS tiveram menor gs, com redução de 38,88% e 38,16%, respectivamente (Figura 19B). A fotossíntese líquida (A) diminuiu com o déficit hídrico e não se restabeleceu após a irrigação (Figura 19C). Plantas de MFC tiveram maior fotossíntese líquida, 27,34% maior que plantas MFS (Figura 19D). O déficit hídrico influenciou negativamente a transpiração, com o menor valor ($1,216 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) observado aos 11 dias após a suspensão da irrigação, reestabelecendo após o retorno da irrigação (Figura 19E). Plantas MFC tiveram maior E, 31,68% maior em relação às plantas MFS (Figura 19F). O déficit hídrico não diminuiu o índice SPAD das plantas (Figura 19G). Contudo, plantas MFC tiveram menor índice SPAD (60,18) em relação aos demais tratamentos (Figura 19H).



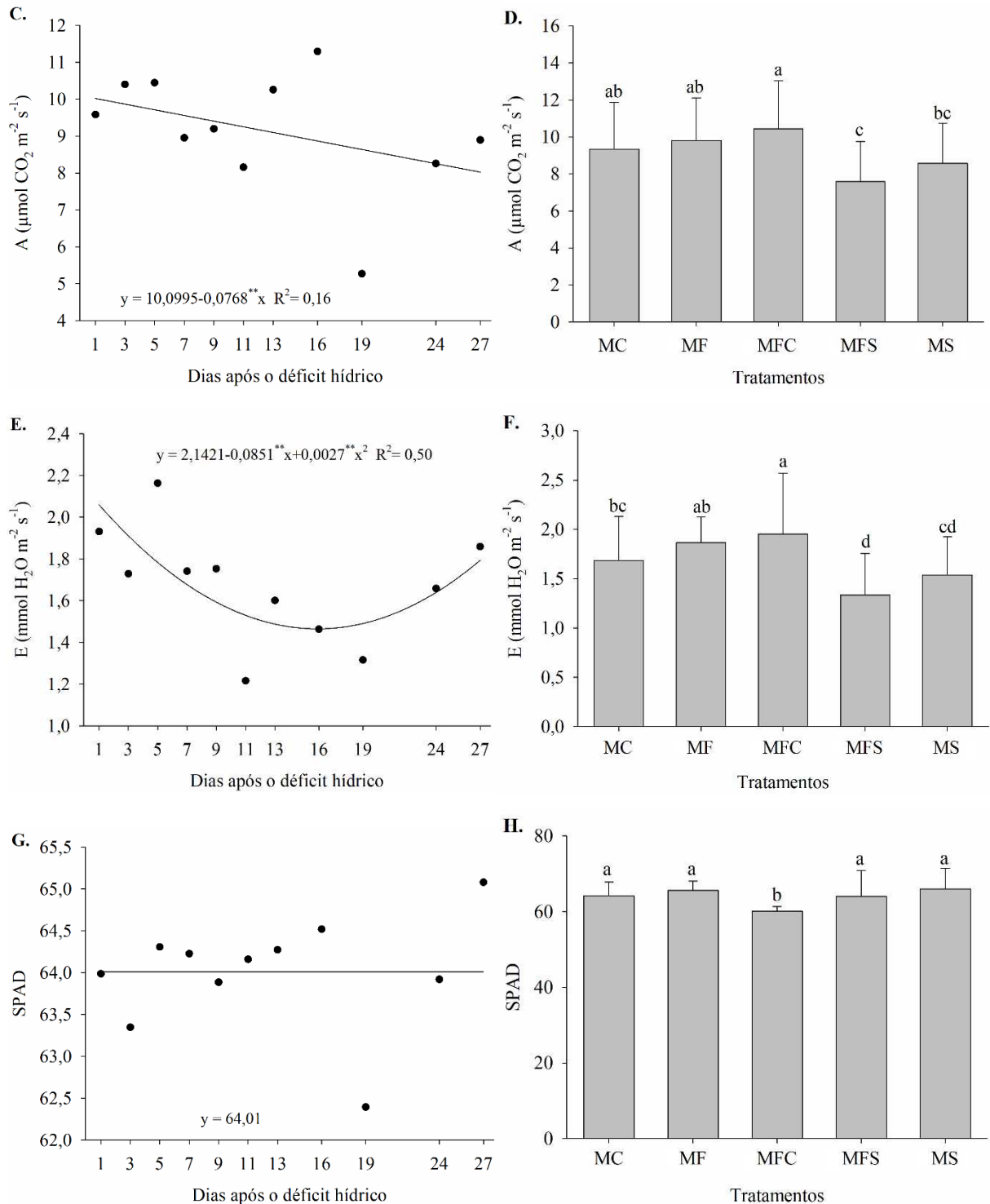


Figura 19. Condutância estomática (gs – A e B), fotossíntese líquida (A – C e D), transpiração (E – E e F) e índice SPAD (G e H) em tangoreiro ‘Murcott’ enxertadas sobre trifoliatoeiro ‘Flying Dragon’, citromeleiro ‘Swingle’ e limoeiro ‘Cravo’ e interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’ e sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). MC - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’, MF- borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre ‘Flying Dragon’, MFC - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’, MFS - borbúlia de ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Swingle’, MS - borbúlia de ‘Murcott’ enxertada sobre citromeleiro ‘Swingle’, DADH - dias após o déficit hídrico, DAR - dias após reidratação.

A redução na abertura estomática pode ser devido a sinais químicos induzidos pelo déficit hídrico do sistema radicular. Entre esses sinais, o ácido abscísico (ABA) é o principal

sinal de longa distância que fornece informações sobre o estado hídrico das raízes (Miranda et al., 2021). A síntese de ABA nas raízes é induzida pela baixa disponibilidade de água na zona radicular, desencadeando o fechamento estomático, mudanças na expressão gênica e acúmulo de osmólitos (Cutler et al., 2010). O acúmulo de osmólitos é uma das principais estratégias de aclimatação ao déficit hídrico pelas plantas, e isso pode ser uma explicação para o rápido restabelecimento da gs após o retorno da irrigação. Plantas de citros geralmente acumulam quantidades elevadas de prolina sob estresse hídrico, e essa pode ser uma das causas deste restabelecimento (Girardi et al., 2018). A diminuição dos níveis de clorofilas (índice SPAD) em MFC indica uma maior sensibilidade dessa combinação genotípica ao estresse e uma resposta para amenizar a diminuição nas variáveis relacionadas à fotossíntese (Vives-Peris et al., 2023). Irrigações inferiores a 75% da ETr reduziu as trocas gasosas de combinações das copas (limeira ácida ‘Tahiti’ e pomeleiro ‘Star Ruby’) e dos porta-enxertos (limoeiro ‘Cravo Santa Cruz’ e o Híbrido Trifoliado-069) (Brito et al., 2012). A deficiência hídrica reduziu a taxa de fotossíntese nos porta-enxertos ‘TSKC × TRENG–256’, ‘TSKC × (TR × LCR) – 059’, ‘TSKC × TRENG – 264’ e ‘LCRC’, necessitando de irrigação quando cultivados em áreas com baixa pluviosidade (Suassuna et al., 2014).

Os porta-enxertos influenciam os traços fisiológicos da copa, incluindo o vigor da planta, a qualidade, a produção de frutas e a tolerância a vários estresses ambientais (Kazemi et al., 2021). Isso está atrelado ao fato de que os enxertos e porta-enxertos são componentes vitais na indústria de produção de frutas, e sua interação regula o fornecimento de nutrientes minerais, hormônios e carboidratos (Albacete et al., 2014). Selecionar um porta-enxerto adequado é uma das principais decisões na implantação de um pomar e na obtenção de retornos máximos de forma sustentável (Hayat et al., 2022). Em estudo realizado por Cerqueira et al. (2004), limoeiros ‘Volkameriano’ e ‘Cravo’ revelaram maior sensibilidade ao déficit hídrico, exibindo reduções significativas no potencial hídrico e uma capacidade de recuperação limitada.

CONCLUSÕES

Experimento 1

A enxertia não teve efeito significativo sobre características como o índice estomático, a densidade estomática e a área foliar da tangerineira ‘Ponkan’. Em termos de crescimento caulinar, o uso de limoeiro ‘Cravo’ como porta-enxerto favoreceu o aumento do diâmetro caulinar da copa, possivelmente por promover maior vigor em comparação com ‘Flying

Dragon’, que apresentou menor diâmetro caulinar da copa. Em resposta ao déficit hídrico agudo, observou-se uma redução na condutância estomática, transpiração e fotossíntese, com diferentes capacidades de recuperação após a irrigação. Os porta-enxertos influenciaram a resposta ao déficit hídrico. Tangerineiras ‘Ponkan’ interenxertadas com ‘Flying Dragon’ e enxertadas sobre ‘Cravo’ mostraram maior capacidade de recuperação hídrica, sugerindo maior tolerância ao estresse. Além do mais, tiveram maior comprimento de raiz, e isso pode ser um bom indicativo para a absorção de água em zonas mais profundas e melhor aclimatação ao déficit hídrico. O menor potencial hídrico foliar ao meio-dia em plantas enxertadas sobre ‘Cravo’ indica uma maior perda de água e menor eficiência na manutenção do equilíbrio hídrico em condições de alta demanda evaporativa. O déficit hídrico causou uma queda na fotossíntese líquida das plantas, que não foi plenamente restabelecida após a irrigação, isso sugere que as mesmas podem ter sofrido danos fisiológicos durante o período de seca, dificultando a recuperação completa. O estudo evidencia que a escolha do porta-enxerto influencia o desenvolvimento radicular e caulinar, além da capacidade das plantas de responder ao estresse hídrico. A combinação de ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’ demonstrou benefícios em termos de tolerância ao déficit hídrico, mas o impacto na fotossíntese destaca a importância de considerar não apenas a resistência à seca, mas também o potencial de recuperação metabólica das plantas. Assim, o uso de diferentes porta-enxertos deve ser planejado estrategicamente para otimizar tanto o crescimento quanto a resiliência das plantas a fatores ambientais.

Experimento 2

Os resultados deste estudo indicam que a prática de enxertia e interenxertia em tangoreiro ‘Murcott’ não influenciou significativamente parâmetros como índice estomático, densidade estomática, área foliar, e características do sistema radicular. A combinação de tangoreiro ‘Murcott’ interenxertada sobre ‘Flying Dragon’ e enxertada sobre citrumeleiro ‘Swingle’ demonstrou um diâmetro caulinar de porta-enxerto e interenxerto maiores em comparação com outras combinações, destacando o impacto desses genótipos na estrutura da planta. O déficit hídrico imposto pela suspensão da irrigação revelou importantes diferenças na capacidade de retenção de água e na recuperação das plantas após a reidratação. Observou-se que plantas de ‘Murcott’ enxertadas sobre ‘Flying Dragon’ mantiveram maior teor de umidade no solo e maior potencial hídrico foliar durante o estresse. Essa capacidade de retenção e recuperação pode ser explicada por uma melhor regulação da abertura estomática e pelo ajuste osmótico, que permite à planta manter a turgidez celular mesmo em condições adversas. Assim

como, interenxertia sobre ‘Flying Dragon’ e ‘Cravo’ tiveram maior recuperação das trocas gasosas após a reidratação, mesmo sob condições de déficit hídrico, indicando uma melhor adaptação a esse estresse ambiental. Em resumo, o estudo mostrou que a escolha de porta-enxertos e interenxertos pode influenciar tanto a arquitetura da planta quanto sua capacidade de responder ao déficit hídrico. Embora parâmetros morfológicos, como área foliar e crescimento radicular, não tenham sido afetados, a arquitetura caulinar e as respostas fisiológicas variaram significativamente entre as combinações estudadas. Essas observações reforçam que a escolha de porta-enxertos e interenxertos não é apenas uma questão de melhorar a produtividade, mas também de garantir que a planta tenha maior resiliência a estresses ambientais, especialmente em áreas com déficit hídrico agudo.

REFERÊNCIAS

- Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Martínez-Pérez, A., Thompson, A. J., Dodd, I. C., Pérez-Alfocea, F. (2015). Unravelling rootstock × scion interactions to improve food security. *Journal of Experimental Botany*, 66(8), 2211-2226.
- Alfaro, J. M., Bermejo, A., Navarro, P., Quinones, A., Salvador, A. (2023). Effect of rootstock on citrus fruit quality: A review. *Food Reviews International*, 39(5), 2835-2853.
- Agustí, M. Citricultura. Madri: Mundi-Prensa, 2000.
- Amaral, J. A. T.; Rena, A. B.; Amaral, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e suas relações com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 41, n. 3, p. 377-384, 2006.
- Amaro, A. A; Caser, D. Diversidade do mercado de tangerinas. *Informações Econômicas*, v. 33, p. 51 67, 2003.
- Andrade, R. A. de; Martins, A. B. G. Propagação vegetativa de porta-enxertos para citros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 1, p. 134 136, 2003.
- Atkinson, C., Else, M. (2001). Understanding how rootstocks dwarf fruit trees. *Compact Fruit Tree*, 34(2), 46-49.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p. FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29.
- Azevedo, F. A. De; Pio, R. Influência da polinização sobre o número de sementes do tangor- *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 24, n. 2, p. 468 471, 2002.
- Azevêdo, C. L. L. Sistema de Produção de Citros para o Nordeste. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de Produção, 16, versão eletrônica, ISSN 1678-8796, 2003.

- Balfagón, D., Rambla, J. L., Granell, A., Arbona, V., & Gomez-Cadenas, A. (2022). Grafting improves tolerance to combined drought and heat stresses by modifying metabolism in citrus scion. *Environmental and Experimental Botany*, *195*, 104793.
- Barboza Júnior, C.R.A. Evapotranspiração da lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.) determinada por lisimetria de pesagem. Piracicaba - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Dissertação (Mestrado). 63p. 2007.
- Barreiros, R. B. (2021). Interenxertia do trifoliateiro “Flying Dragon” no controle do desenvolvimento de mudas do tangoreiro “Murcott”. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 55 p.
- Barry, G. H.; Castle, W. S.; Davies, F. S. Rootstocks and plant water relations affect sugar accumulation of citrus fruit via osmotic adjustment. *Journal of American Society for Horticultural Science*, Geneva, v. 129, p. 881- 889, 2004.
- Bartlett, M. K., Scoffoni, C., Sack, L. (2012). The determinants of leaf turgor loss point and prediction of drought tolerance of species and biomes: a global meta-analysis. *Ecology Letters*, *15*(5), 393-405.
- Bastos, D. C.; Ferreira, E. A.; Passos, O. S.; De Sá, J. F.; Ataíde, E. M.; Calgaro, M. Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 35, n. 281, p. 36-45, jul./ago. 2014.
- Belo, A. P. M. Caracterização sensorial e físico-química de tangerinas produzidas em Goiás. 2017. 104 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Agronomia). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2017.
- Berger, D., Altmann, T. A subtilisin-like serine protease involved in the regulation of stomatal density and distribution in *Arabidopsis thaliana*. *Genes Development*, *14*: 1119–1131, 2000.
- Borges, R. de S.; Pio, R. M. Comparative study of the mandarin hybrid fruit characteristics: Nova, 'Murcott' and 'Ortanique' in Capão Bonito SP, Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 3, p. 448-452, 2003.
- Bowman, K. D., Joubert, J. (2020). Citrus rootstocks. In *The genus citrus* (pp. 105-127). Woodhead Publishing.
- Brito, M. E., Soares, L. A. D. A., Fernandes, P. D., de Lima, G. S., Sá, F. V. D. S., de Melo, A. S. (2012). Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, *7*(suplemento), 857-865.

- Brito, M. E. B.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R.; Melo, A. S. de; Cardoso, J. A. F.; Soares Filho, W. S. Sensibilidade de variedades e híbridos de citrange à salinidade na formação de porta-enxertos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. v.3, n.4, p.343-353, 2008.
- Bueno, I. G. A., Picoli, E. A. T., Isaias, R. M. S, Lopes-Mattos, K. L. B., Cruz, C. D., Kuki, K. N., Zauza, E. A. V. (2020). Wood anatomy of field grown eucalypt genotypes exhibiting differential dieback and water deficit tolerance. *Current Plant Biology*, 22, 100136.
- Calzavara, S. A.; Santos, J. M.; Favoreto, L. Resistência de porta-enxertos cítricos a *Pratylenchus jaehni* (Nematoda: Pratylenchidae). *Nematologia Brasileira*, Piracicaba, v. 31, n. 1, p. 7-11, 2007.
- Camara, J. M.; Garcia-Sanchez, F.; Nieves, M.; Cerda, A. Effect of interstock (*Salustiana orange*) on growth, leaf mineral composition and water relations of one year old citrus under saline conditions. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, Wellesbourne, v. 78, n. 2, p. 161-167, 2003.
- Cambraia, J. Aspectos bioquímicos, celulares e fisiológicos dos estresses nutricionais em plantas. In: Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, E. de L.; Willadino, L. G.; Cavalcante, U. M. T. (eds.). *Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas*. Recife: UFRPE, 2005. cap. 2, p. 95-104.
- Campos, M. K. F. de. Relações hídricas, trocas gasosas e atividade de enzimas antioxidantes em plantas transgênicas de Citrumelo 'swingle' com alto acúmulo de prolina Submetidas ao déficit hídrico. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. Dissertação (Mestrado) – 114f. 2009.
- Carlos, E. F.; Stuchi, E. S.; Donadio, L. C. Porta-Enxertos Para Citricultura Paulista. *Boletim Citrícola - UNESP/FUNEP/EECB*, Jaboticabal, p.1-52, 1997.
- Carlquist, S. J. *Ecological strategies of xylem evolution*. University of California Press, 1975.
- Carvalho, L. M.; Carvalho, H. W. L.; Soares Filho, W. S.; Martins, C. R.; Passos, O. S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo', nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v.51, n.2, p.132-141, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200005>.
- Carvalho, S. A.; Girardi, E. A.; Mourão, F. de A. A.; Ferrarezi, R. S.; Filho, H. D. C. Advances in citrus propagation in Brazil. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 41, n. 6, 2019.
- Carvalho, E. V., Cifuentes-Arenas, J. C., Raiol-Junior, L. L., Stuchi, E. S., Girardi, E. A., Lopes, S. A. (2021). Modeling seasonal flushing and shoot growth on different citrus scion-rootstock combinations. *Scientia Horticulturae*, 288, 110358.

- Castle, W. S. Rootstock and interstock effects on the growth of young ‘Minneola’ tangelo trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, v. 105, p. 82-84, 1992
- Castle, W. S.; Bowman, K. D.; Grosser, J. W.; Futch, S. H.; Graham, J. H. Florida citrus rootstock selection guide. Extension Digital Information Source (EDIS). University of Florida, Gainesville, 3a ed., 2015.
- Castro Neto, M. T. de. Efeito do déficit hídrico na transpiração e resistência estomática da mangueira. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, p. 93-95, 2003.
- Cerqueira, E. C., Castro Neto, M. T. D., Peixoto, C. P., Soares Filho, W. D. S., Ledo, C. A. D. S., Oliveira, J. G. D. (2004). Resposta de porta-enxertos de citros ao déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26, 515-519.
- Cheng, F. S.; Roose, M. L. Origin and inheritance of dwarfing by the citrus rootstock *Poncirus trifoliata* ‘Flying Dragon’. *Journal of the American Society Horticultural Science*, v. 120, n. 2, p. 286-291, 1995.
- Coelho Filho, M. A.; Bassoi, L. H.; Angelocci, L. R.; Coelho, F. E.; Pereira, F. A. de C. Relação solo-planta-atmosfera. In: Sousa, V. F. de; Marouelli, W. A.; Coelho, E. F.; Pinto, J. M. Coelho Filho, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação, 2011.
- Coelho, E. F.; Coelho Filho, M. A.; Simões, W. L.; Coelho, Y. S. Irrigação em citros nas condições do nordeste do Brasil. *Citrus Research & Technology*, v. 27, n. 2, p. 0-0, 2020.
- Cohen, S., Naor, A., Bennink, J., Grava, A., Tyree, M. (2007). Hydraulic resistance components of mature apple trees on rootstocks of different vigours. *Journal of Experimental Botany*, 58(15-16), 4213-4224.
- Cunha Sobrinho, A. P.; Magalhães, A. F. J.; Souza, A. S.; Passos, O. S.; Soares Filho, W. S. *Cultura do Citros*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. v.1. 399p. ISBN 978-85-7035-251-4.
- Cutler, S. R., Rodriguez, P. L., Finkelstein, R. R., Abrams, S. R. (2010). Abscisic acid: emergence of a core signaling network. *Annual Review of Plant Biology*, 61, 651-679.
- Cutter, E. G. Anatomia vegetal. Parte I – Células e tecidos. 2.ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.
- De Carvalho, Sérgio Alves et al. Advances in citrus propagation in Brazil. [S.l: s.n.], 2019. v. 41.
- De Oliveira, R. P.; Soares Filho, W. D. S.; Passos, O.; Scivittaro, W. B.; Da Rocha, P. S. G. Porta-enxertos para citros. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 45 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 226), 2008.

- De Oliveira, R. P.; Flores Cantillano, R. F.; Ueno, B.; Scivittaro, W.; Moreno, M. Murcott: opção de tangoreiro tardio para produtores da Campanha e Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Embrapa Clima Temperado-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E), 2017.
- Donadio, L. C.; Stuchi, E. S. Adensamento de plantio e ananicamento de citros. Jaboticabal: FUNEP, 2001.
- Donato, S. L. R., Pereira, C. S., Barros, Z. D. J., Siqueira, D. L. D., Salomão, L. C. C. (2007). Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 1507-1510.
- Doss B. D.; Ashley, D. A.; Bennet, O. L. Effect of soil moisture regime on root distribution of warm season forage species. *Agronomy Journal*, 52(10), 569-572, 1960. <https://doi.org/10.2134/agronj1960.00021962005200100005x>.
- Efrom, C. F. S.; Souza, P. V. D. de (Org.). Citricultura do Rio Grande do Sul: indicações técnicas. 1. ed. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação - SEAPI; DDPa, 2018.
- Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Citricultura. Informe Agropecuário, v. 35, n. 281, p. 104, Belo Horizonte – MG, 2014.
- Espinoza-Núñez, E., Mourão Filho, F. D. A. A., Stuchi, E. S., Cantuarias-Avilés, T., dos Santos Dias, C. T. (2011). Performance of ‘Tahiti’ lime on twelve rootstocks under irrigated and non-irrigated conditions. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 227-231.
- Esposti, M. D. D., Siqueira, D. L. D., Cecon, P. R. (2008). Crescimento de frutos da tangerineira 'Poncã' (Citrus reticulata Blanco). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30, 657-661.
- Fachinello, J. C.; Hoffmann, A.; Nachtigal, J. C. Propagação de Plantas Frutíferas. 1a ed. Brasília: [s.n.], 2005.
- Fao. Organização Das Nações Unidas Para Alimentação E Agricultura. FAOTAST- Crop. 2024. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 out. 2024.
- Faria-Silva, L., Silva, D. M. (2023). Different rootstocks can change the photosynthetic performance of the ‘Uba’ mango scion after recurrent drought events. *Trees*, 37(5), 1385-1399.
- Fermino, C. E. Porta-enxerto para a citricultura paulista. (Ed.) Fermino, E. C.; Stuchi, E. S., Donadio, L. C. Boletim Agrícola, Jaboticabal: Funep, 47 p., 1997.
- Figueiredo, J. O. Variedades-copa de valor comercial. In: Rodriguez, O.; Viégas, F.; Pompeu Jr., J.; Amaro, A. A. (eds.). Citricultura Brasileira. Campinas, Fundação Cargill, P. 228-64.1991.

- Fioravanço, J. C. Precocidade de produção de cultivares de macieira sobre dois porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 37, p. 676-684, 2015.
- Flexas, J.; Bota, J.; Loreto, F.; Cornic, G.; Sharkey, T. D. Difusive and metabolic limitations on photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Biology*, Malden, v.6, p.1-11, 2004.
- Forner-Giner, M. A., Rodriguez-Gamir, J., Martínez-Alcántara, B., Quinones, A., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., Forner, J. (2014). Performance of Navel orange trees grafted onto two new dwarfing rootstocks (Forner-Alcaide 517 and Forner-Alcaide 418). *Scientia Horticulturae*, 179, 376-387.
- Foster, T. M., McAtee, P. A., Waite, C. N., Bolding, H. L., McGhie, T. K. (2017). Apple dwarfing rootstocks exhibit an imbalance in carbohydrate allocation and reduced cell growth and metabolism. *Horticulture Research*, 4, 17009.
- Fundecitrus. Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: retrato dos pomares em março de 2020. Disponível em: <https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2020_06_25_Inventário_e_Estimativa_d_o_Cinturao_Citricola_2020-20211.pdf>. Acesso em: 02 de agosto de 2022.
- Gava, R.; Da Silva, E. E.; Baio, F. H. R. Calibração de sensor eletrônico de umidade em diferentes texturas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 10(2), 154-162, 2016.
- Gaona-Ponce, M.; Almaguer-Vargas, G.; Barrientos-Priego, A. F.; Borja-De La Rosa, M. A. M. Relationship of rootstock xylem anatomy with the initial growth of 'Tahiti'lime (*Citrus x latifolia* Tanaka ex Q. Jiménez). *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, v. 24, n. 3, p. 359-370, 2018.
- Gill, P.; Singh, N. Effect of different stionic combinations on fruiting and quality of pear cv. Punjab Beauty. *Asian Journal of Horticulture*, v. 9, n. 2, p. 301-304, 2014.
- Gimeno, V.; Syvertsen, J. P.; Nieves, M.; Simón, I.; Martínez, V.; Garciasanchez, F. Orange varieties as interstocks increase the salt tolerance of lemon trees. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 84, n. 6, p. 625-631, 2009.
- Girardi, E. A., Mourão Filho, F. D. A. A. (2006). Production of interstocked 'Pera' sweet orange nursery trees on 'Volkamer' lemon and 'Swingle' citrumelo rootstocks. *Scientia Agricola*, 63, 5-10.
- Girardi, E. A., Brandão, A. D., Coelho, R. D., do Couto, H. T., Buckeridge, M. S., Mourão Filho, F. D. A. A. (2018). Regulated deficit irrigation benefits the production of container-grown citrus nursery trees. *Trees*, 32, 1751-1766.

- Gjamovski, V. I. K. T. O. R., Kiprijanovski, M. (2011). Influence of nine dwarfing apple rootstocks on vigour and productivity of apple cultivar ‘Granny Smith’. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 742-746.
- Gonçalves, B.; Correia, C. M.; Silva, A. P.; Bacelar, E. A.; Santos, A.; Ferreira, H.; Moutinho-Pereira, J. M. Variation in xylem structure and function in roots and stems of scion-rootstock combinations of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.). *Trees*, v. 21, n. 2, p. 121-130, 2007.
- Gonzatto, M. P.; Kovaleski, A. P.; Brugnara, E. C.; Weiler, R. L.; Sartoni, I. A.; Lima, J. G. D.; Schwarz, S. F. Performance of ‘Oneco’ mandarin on six rootstocks in South Brazil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, p. 406-411, 2011.
- Gonzatto, M. P., Oliveira, R. P., Souza, E. L. S., Schwarz, S. F. Souza, P. V. D. (2018). Portaenxertos. In: Efrom, C. F. S. & Souza, P. V. D. (Orgs.) *Citricultura do Rio Grande do Sul: Indicações técnicas* (1a ed., pp. 36-58). Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação - SEAPI; DDPA.
- Grazyb, Z. S.; Rozpara, E.; Hartmann, W. The influence of different interstems on growth and yield of plum cv. Ruth Gerstetter trees. *Acta Horticulturae*, The Hague, v. 359, p. 256-259, 1994.
- Grellmann, E. O. Produção de mudas de macieira. *Boletim técnico*, Porto Alegre: FEPAGRO, v. 31, 1988, 15-19 p.
- Hartmann, N. T.; Kester, D. E.; Davies Junior, F. T. *Plant propagation: principles and practices*. Englewood Cliffs: Regents/Prentice-Hall, 5a ed., 647 p., 1990.
- HARTMAN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. *Plant Propagation: Principles and Practices*, 8a ed. 915 p, 2011.
- Hayat, F., Iqbal, S., Coulibaly, D., Razzaq, M. K., Nawaz, M. A., Jiang, W., ... Gao, Z. (2021). An insight into dwarfing mechanism: Contribution of scion-rootstock interactions toward fruit crop improvement. *Fruit Research*, 1(1), 1-11.
- Hayat, F., Li, J., Iqbal, S., Peng, Y., Hong, L., Balal, R. M., ... Chen, J. (2022). A mini review of citrus rootstocks and their role in high-density orchards. *Plants*, 11(21), 2876.
- Hummel, I., Pantin, F., Sulpice, R., Piques, M., Rolland, G., Dauzat, M., ... Muller, B. (2010). Arabidopsis plants acclimate to water deficit at low cost through changes of carbon usage: an integrated perspective using growth, metabolite, enzyme, and gene expression analysis. *Plant Physiology*, 154(1), 357-372.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 15 de outubro 2024.
- Jacobsen, A. L.; Ewers, F. W.; Pratt, R. B.; Paddock, W. A.; Davis, S. D. Do xylem fibers affect vessel cavitation resistance? *Plant Physiology*, v. 139, p. 546-556, 2005.
- Juarez, M. A. T. Tolerância ao alagamento em clones de *Coffea canephora*: respostas hídricas, fotossintéticas e metabólicas. Tese (Doutorado) - Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 55 f. 2019.
- Kamiloglu, M. U., Yesiloglu, T. (2014). Effect of interstocks in photosynthesis and growth rates for 'Navelina'orange and 'Kütdiken'lemon. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı-1), 939-946.
- Kamiloglu, M. U., Yesiloglu, T. (2014). Effect of interstocks in photosynthesis and growth rates for 'Navelina'orange and 'Kütdiken'lemon. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(Özel Sayı-1), 939-946.
- Kazemi, S., Zakerin, A., Abdossi, V., Moradi, P. (2021). Fruit yield and quality of the grafted tomatoes under different drought stress conditions. *Asian Journal of Agriculture and Biology*, 9, 1-14.
- Khankahdani, H. H., Rastegar, S., Golein, B., Golmohammadi, M., Jahromi, A. A. (2019). Effect of rootstock on vegetative growth and mineral elements in scion of different Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) genotypes. *Scientia Horticulturae*, 246, 136-145.
- Köppen, W. (1936). Das geographische System de Klimate. *Handbuch der klimatologie*.
- Koshita, Y., Morinaga, K., Tsuchida, Y., Asakura, T., Yakushiji, H., Azuma, A. (2007). Selection of interstocks for dwarfing Japanese persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) trees. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 76(4), 288-293.
- Kramer, P. Water relations of plants. New York: Academic Press, 1983.
- Lei, Y., Yin, C., Li, C. (2006). Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. *Physiologia Plantarum*, 127(2), 182-191.
- Li-Cor Biosciences. LI-3100C Area Meter. Disponível em: https://www.licor.com/env/products/leaf_area/LI-3100C/. Acesso em: 02 nov. 2023.
- Lopes, J. M. S.; Déo, T. F. G.; Andrade, B. J. M.; Giroto, M.; Felipe, A. L. S.; Junior, C. E. I.; Bueno, C. E. M. S.; Silva, T. F.; Lima, F. C. C. Importância econômica dos citros no Brasil. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, v. 20, n. 10, p. 2, 2011.

- Lu, P., Murray, M., Bithell, S.L. (2017). Long-term trunk strangulation reduces photosynthesis, sap flow and growth, but improves flowering and plant status of mango trees. *Acta Horticulturae*, 1183, 53-61.
- Machado, A. V. Efeitos do estresse hídrico em plantas jovens de *Hedyosmum brasiliense* Mart. (Chloranthaceae). Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 65f. Dissertação (Mestrado). 2004.
- Machado, E. C., Medina, C. L., Gomes, M. D. M. D. A. (1999). Substrate water content and photosynthesis in 'Valencia' orange trees. *Bragantia*, 58, 217-226.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: [s.n.], 1997.
- Marin, F. R. Evapotranspiração, transpiração e balanço de energia em pomar de lima ácida Tahiti. Piracicaba, ESALQ, 110f. Tese (Doutorado). 2000.
- Martínez-Alcántara, B., Rodríguez-Gamir, J., Martínez-Cuenca, M. R., Iglesias, D. J., Primo-Millo, E., Forner-Giner, M. A. (2013). Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees*, 27, 629-638.
- Martínez-Cuenca, M. R., Primo-Capella, A., Forner-Giner, M. A. (2016). Influence of rootstock on citrus tree growth: effects on photosynthesis and carbohydrate distribution, plant size, yield, fruit quality, and dwarfing genotypes. *Plant Growth*, 16, 107.
- Martins, F. B.; Streck, N. A.; Silva, J. C. da; Moraes, W. W.; Susin, F.; Navroski, M. C.; Vivian, M. A. Deficiência hídrica no solo e seu efeito sobre transpiração, crescimento e desenvolvimento de mudas de duas espécies de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p. 1297-1306, 2008.
- Mattos Junior, D.; De Negri, J. D.; Figueiredo, J. O.; Pompeu Junior, J. Citros: principais informações e recomendações de cultivo. Boletim técnico 200 (IAC), Instituto Agronômico de Campinas, 2005.
- Medeiros, D. B.; Martins, S. C.; Cavalcanti, J. H. F.; Daloso, D. M.; Martinoia, E.; Nunes-Nesi, A.; Damatta, F. M.; Fernie, A. R.; Araújo, W. L. Enhanced photosynthesis and growth in atqac1 knockout mutants are due to altered organic acid accumulation and an increase in both stomatal and mesophyll conductance. *Plant Physiology*, 170(1), 86-101, 2016.
- Medina, C. L., Machado, E. C. (1998). Gas exchange and water relations of "Valencia" orange tree grafted on "Rangpur" lime and *Poncirus trifoliata*, submitted to a water deficit. *Bragantia*, 57, 15-22.

- Medina, C. L. Lima ácida Tahiti: fisiologia da produção. In: Matos Junior, D.; De Negri, J. D.; Figueiredo, J. O. (Ed.). Lima ácida Tahiti. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003.
- Miranda, M. T., Da Silva, S. F., Silveira, N. M., Pereira, L., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. (2021). Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus rootstocks under water deficit. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 11-19.
- Montenegro, H.W.S. Clima e Solo. In: Rodriguez, O.; Viégas, F.C.P. Citricultura Brasileira. Campinas: Fundação Cargill, 1980. p.225-239.
- Morinaga, K., Ikeda, F. (1990). The effects of several rootstocks on photosynthesis, distribution of photosynthetic product, and growth of young satsuma mandarin trees. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 59(1), 29-34.
- Muller, B., Pantin, F., Génard, M., Turc, O., Freixes, S., Piques, M., Gibon, Y. (2011). Water deficits uncouple growth from photosynthesis, increase C content, and modify the relationships between C and growth in sink organs. *Journal of Experimental Botany*, 62(6), 1715-1729.
- Nguyen, H. T.; Babu, R. C.; Blum, A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations. *Crop Science*, v. 37, p. 1426-1437, 1997.
- Nogueira, R. J. M. C.; Moraes, J. A. P. V.; Burity, H. A.; Bezerra Neto, E. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.
- Oliveira, R. P.; Ueno, B.; Scivittaro, W. B.; Koller, O. C.; Rocha, P. S. G. Cancro cítrico: epidemiologia e controle. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2008. 40 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 234).
- Oliveira, R. P. de; Flores Cantillano, R. F.; Ueno, B.; Scivittaro, W.; Moreno, M. Murcott: opção de tangoreiro tardio para produtores da Campanha e Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. 2017.
- Opazo, I., Toro, G., Salvatierra, A., Pastenes, C., Pimentel, P. (2020). Rootstocks modulate the physiology and growth responses to water deficit and long-term recovery in grafted stone fruit trees. *Agricultural Water Management*, 228, 105897.
- Ortolani, A. A.; Pedro Júnior, M. J.; Alfonsi, R. R. Agroclimatologia e o cultivo dos citros. In: Rodriguez, O.; Viégas, J.; Pompeu Júnior, J.; Amaro, A.S. Citricultura brasileira, 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, 1991.
- Pasa, M. D. S.; Katsurayama, J. M.; Brighenti, A. F.; Araújo Filho, J. V. D.; Boneti, J. I. D. S. Desempenho de macieiras' Imperial Gala'e'Mishima Fuji'em diferentes porta-enxertos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, p. 17-26, 2016.

- Pedroso, F. K., Prudente, D. A., Bueno, A. C. R., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. (2014). Drought tolerance in citrus trees is enhanced by rootstock-dependent changes in root growth and carbohydrate availability. *Environmental and Experimental Botany*, 101, 26-35.
- Peixoto, C. P. Cerqueira, E. C.; Soares Filho, W. S.; Castro Neto, M. T. De; Ledo, C. A. S.; Matos, F. S. A.; Oliveira, J. G. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 28, n. 3, p. 439-443, 2006.
- Pinho, R. A.; Mazzoni – Viveiros; Sajo, M. G. Contribuição ao estudo anatômico do lenho de árvores da flora dos cerrados IV. São Paulo, Brasil. *Hoehnea*, 19: 171-183, 1992.
- Pissinato, A. G. V.; Dutra, A. D.; Coelho Filho, M. A.; Soares Filho, W. dos S. Resposta de genótipos de citros ao déficit hídrico. In: JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, 4., 2010, Cruz das Almas. [Anais...] Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. (Embrapa Mandioca e Fruticultura. Documentos, 190).
- Pompeu Júnior, J. Porta-enxertos para citros. In: Rodrigues, O.; Viegas, F. *Citricultura Brasileira*. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 279-296, 1980.
- Pompeu Júnior, J. Rootstocks and scions in the citriculture of the São Paulo State. *International Congress Of Citrus Nurserymen*, v. 6, p. 75-82, 2001.
- Pompeu Júnior, J. Porta-enxertos. Citros. Campinas: IAC: FUNDAG, p. 63 104, 2005.
- Pompeu Junior, J.; Blumer, S. Trifoliate hybrids as rootstocks for Pêra sweet orange tree. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 1, p. 9 14, 2014.
- Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y., Palme, K. J., Jansen, M. A. (2007). Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble?. *Trends in Plant Science*, 12(3), 98-105.
- Quiñones, A.; Bañuls, J.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. Recovery of the ¹⁵Nlabelled fertiliser in citrus trees in relation with timing of application and irrigation system. *Plant and Soil*, n. 268, p.367–376, 2005.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. In. *R Foundation for Statistical Computing* Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2024.
- Reighard, G. L. Use of peach interstem to delay peach phenology. *Acta Horticulturae*, The Hague, v. 395, p. 201-207, 1995.
- Reuther, W.; Batchelor, L. D.; Webber, H. J. History and development of the Citrus industry, In: Webber, H. J.; Reuther, W.; Batchelor, L. D. *The Citrus Industry*. Berkeley: University of California, 1967, 1-37 p.

- Richards, D.; Thompson, W. K.; Pharis, R. P. The influence of dwarfing interstocks on the distribution and metabolism of xylem-applied [3 H] gibberellin A4 in apple. *Plant Physiology*, Rockville, v. 82, n. 7, p. 1090-1095, 1986.
- Rodrigues, F. A.; Freitas, G. D. F.; Moreira, R. A.; Pasqual, M. (2010). Caracterização dos frutos e germinação de sementes dos porta-enxertos trifoliata ‘Flying Dragon’ e ‘citrumelo Swingle’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, n. 4, p. 1180- 1188, 2010.
- Rodrigues, M. J. D. S., Oliveira, E. R. M. D., Girardi, E. A., Ledo, C. A. D. S., & Soares Filho, W. D. S. (2016). Produção de mudas de citros com diferentes combinações copa e porta-enxerto em viveiro protegido. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, 187-201.
- Rodríguez-Gamir, J.; Primo-Millo, E.; Forner, J. B.; Forner-Giner, M. A. Citrus rootstock responses to water stress. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v.126, p. 95-102, 2010a.
- Rodríguez-Gamir, J.; Intrigliolo, D. S.; Primo-Millo, E.; Forner-Giner, M. A. Relationships between xylem anatomy, root hydraulic conductivity, leaf/root ratio and transpiration in citrus trees on different rootstocks. *Physiologia Plantarum*, Sweden, v. 139, p. 159-169, 2010b.
- Rodríguez-Gamir, J.; Primo-Millo, E.; Forner-Giner, M. Á. An integrated view of whole-tree hydraulic architecture. Does stomatal or hydraulic conductance determine whole tree transpiration? *PLoS ONE*, v. 11, n. 5, p. 1-19, 2016.
- Saeed, M.; Dodd, P. B.; Sohail, L. Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigour. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2 (4) 87-94. 2010. <https://doi.org/10.5897/JHF.9000006>.
- Salem-Fnayou, A. B., Belghith, I., Lamine, M., Mliki, A., Ghorbel, A. (2016). Physiological and ultrastructural responses of sour orange (*Citrus aurantium* L.) clones to water stress. *Photosynthetica*, 54, 532-541.
- Santana-Vieira, D. D. S., Freschi, L., Almeida, L. A. D. H., Moraes, D. H. S. D., Neves, D. M., Santos, L. M. D., ... Gesteira, A. D. S. (2016). Survival strategies of citrus rootstocks subjected to drought. *Scientific Reports*, 6(1), 38775.
- Sant’anna, H. L. S. de. Aspectos fisiológicos de variedades de citros submetidas à deficiência hídrica progressiva. Cruz das Almas. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Dissertação (Mestrado) – 84f. 2009.
- Santos, I. C., de Almeida, A. A. F., Pirovani, C. P., Costa, M. G. C., da Conceição, A. S., dos Santos Soares Filho, W., ... Gesteira, A. S. (2019). Physiological, biochemical and molecular responses to drought conditions in field-grown grafted and ungrafted citrus plants. *Environmental and Experimental Botany*, 162, 406-420.

- Sarmiento, A. I. P. Multiplicação de porta-enxerto de citros por estaquia. 2015. 107 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- Scarpate Filho, J. A., Kluge, R. A., Victoria Filho, R., Tessarioli Neto, J., Jacomino, A. P. (2000). Comportamento de duas cultivares de pessegueiro com interenxerto da ameixeira 'Januária'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35, 757-765.
- Scarpeci, T. E.; Zanor, M. I.; Valle, E. M. Estimation of Stomatal Aperture in *Arabidopsis thaliana* Using Silicone Rubber Imprints. *BIO-PROTOCOL*, 7(12), 1-6, 2017.
- Schäfer, G., Bastianel, M., Dornelles, A. L. C. (2001). Porta-enxertos utilizados na citricultura. *Ciência Rural*, 31, 723-733.
- Schinor, E. H.; Paoli, L. G. DE; Azevedo, F. A. De; Mourão Filho, F. De A. A.; Mendes, B. M. J. Organogênese in vitro a partir de diferentes regiões do epicótilo de citrus sp. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.28, p.463-466, 2006.
- Schwarz, D., Rouphael, Y., Colla, G., Venema, J. H. (2010). Grafting as a tool to improve tolerance of vegetables to abiotic stresses: Thermal stress, water stress and organic pollutants. *Scientia Horticulturae*, 127(2), 162-171.
- Segatto, F. B.; Bisognin, D. A.; Benedetti, M.; Costa, L. C. D.; Rampelotto, M. V.; Nicoloso, F. T. Técnica para o estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. *Ciência Rural*, 34(5), 1597-1601, 2004.
- Shafqat, W., Jaskani, M. J., Maqbool, R., Khan, A. S., Ali, Z. (2019). Evaluation of citrus rootstocks against drought, heat and their combined stress based on growth and photosynthetic pigments. *International Journal of Agriculture & Biology*, 22(5), 1001-1009.
- Shafqat, W., Mazrou, Y. S., Nehela, Y., Ikram, S., Bibi, S., Naqvi, S. A., ... Jaskani, M. J. (2021). Effect of three water regimes on the physiological and anatomical structure of stem and leaves of different citrus rootstocks with distinct degrees of tolerance to drought stress. *Horticulturae*, 7(12), 554.
- Siqueira, D. L.; Salomão, L. C. C. Citros: do plantio à colheita. Viçosa: UFV, 2017.
- Silva, S. R. D., Stuchi, E. S., Girardi, E. A., Cantuarias-Avilés, T.; Bassan, M. M. Desempenho da tangerineira 'Span Americana' em diferentes porta-enxertos. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 35, p. 1052-1058, 2013.
- Silva, L. F. B. (2013). Estimativa da viabilidade econômica do replantio e avaliação da incidência de huanglongbing dos citros em pomares com diferentes densidades de plantio.

- Araraquara, Fundo de defesa da citricultura mestrado profissional em controle de doenças e pragas dos citros, 50f. Dissertação (Mestrado). 2013.
- Silva, M. C., Sousa, A. R., Cruz, E. S., Schlichting, A. F., Filho, W. S. S., Gesteira, A. S., ... Costa, M. G. (2019). Phenotyping of new hybrid citrus rootstocks under water deficit reveals conserved and novel physiological attributes of drought tolerance. *Acta Physiologiae Plantarum*, 41, 1-14.
- Silva, S. F., Miranda, M. T., Costa, V. E., Machado, E. C., Ribeiro, R. V. (2021). Sink strength of citrus rootstocks under water deficit. *Tree Physiology*, 41(8), 1372-1383.
- Soares, L. A. D. A., Brito, M. E., Fernandes, P. D., Lima, G. S. D., Soares Filho, W. D. S., Oliveira Filho, E. S. D. (2015). Crescimento de combinações copa-porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19, 211-217.
- Sousa, M. C., Marinho, C. S., Silva, M. P. S., Carvalho, W. S. G., Amaral, B. D., Assis-Gomes, M. M., ... Campostrini, E. (2019). Effects of grafting and gradual rootstock substitution on gas exchanges of orange seedlings under high atmospheric evaporative demand. *Scientia Horticulturae*, 247, 67-74.
- Souza, C. R.; Soares, A. M.; Regina, M. A. Trocas gasosas de mudas de videira, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n.10, p. 1221-1230, 2001.
- Stewart, I.; Wheaton, T. A.; Reese, R. L. Collapse of Murcott citrus trees. *HortScience*, Alexandria, v.3, n.4, p.230-231, 1968.
- Struzziato, R., Raiol Júnior, L. L., Carvalho, E. V. d., Soares Filho, W. d. S., Girardi, E. A., Rafaela Struzziato, U. L. L. R. J. E. V. D. C. (2020). Reação de híbridos intergenéricos de citros a 'Candidatus Liberibacter asiaticus' e ao inseto vetor *Diaphorina citri*.
- Stuchi, E. (2012). Controle do tamanho de plantas cítricas Citrus. *Research & Technology*, 33, 91-112.
- Stuchi, E. S.; Girardi, E. A.; Sempionato, O. R.; Reiff, E. T.; Da Silva, S. R.; Parolin, L. G. Trifoliata flying dragon: porta-enxerto para plantios adensados e irrigados de laranjeiras doces de alta produtividade e sustentabilidade. Embrapa Mandioca e Fruticultura- Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2012.
- Suassuna, J. F., Fernandes, P. D., de Brito, K. S. A., do Nascimento, R., de Melo, A. S., Brito, M. E. B. (2014). Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. *Irriga*, 19(3), 464-477.

- Syvertsen, J. P.; Lloyd, J. J. Citrus. In: Schaffer, B.; Andersen, P. C. (Ed.) Handbook of environmental physiology of fruit crops: subtropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 65-100.
- Taiz, L.; Zeiger, E. Fisiologia vegetal. 3.ed. Porto alegre: ArtMed, 2009.
- Teófilo Sobrinho, J.; Pompeu Junior, J.; Figueiredo, J. O. Adensamento de plantio da laranjeira ‘Valência’ sobre Trifoliata–Resultados de 18 anos de colheita. *Citrus Research & Technology*, v. 33, p. 49-58, 2012.
- Tombesi, S.; Johnson, R. S.; Day, K. R.; Dejong, T. M. Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, v. 105, n. 2, p. 327-331, 2009.
- Treeby, M. T., & Thornton, I. R. (1983). An evaluation of the interaction between interstocks and rootstocks on the yield and tree size of ‘Valencia’ orange. *Scientia Horticulturae*, 19(3-4), 229-235.
- Tsuneta, M.; Hauagge, R. Cultivares e porta-enxertos. In: IAPAR. A cultura da macieira no Paraná. Londrina: Circular Técnica, v. 50, 1988, 22-33 p.
- Vasconcellos, L. A. B. C.; Castle, W. S. Trunk xylem anatomy of mature healthy and blighted grapefruit trees on several rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 119, n. 2, 185-194, 1994.
- Vieira, E. L.; Souza, G. S. de; Santos, A. R. Dos; Santos Silva, J. dos. Manual de Fisiologia vegetal. São Luis: EDUFMA, 186, 2010.
- Vincent, C., Morillon, R., Arbona, V., Gómez-Cadenas, A. (2020). Citrus in changing environments. In *The genus citrus* (pp. 271-289). Woodhead Publishing.
- Vives-Peris, V., López-Climent, M. F., Moliner-Sabater, M., Gómez-Cadenas, A., Pérez-Clemente, R. M. (2023). Morphological, physiological, and molecular scion traits are determinant for salt-stress tolerance of grafted citrus plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1145625.
- Von Groll, U.; Berger, D.; Altmann, T. The subtilisin-like serine protease SDD1 mediates cell-to-cell signaling during Arabidopsis stomatal development. *The Plant Cell*, 14(7), 1527-1539, 2002.
- Wang, T., Xiong, B., Tan, L., Yang, Y., Zhang, Y., Ma, M., ... Wang, J. (2020). Effects of interstocks on growth and photosynthetic characteristics in ‘Yuanxiaochun’ Citrus seedlings. *Functional Plant Biology*, 47(11), 977-987.
- Yaltirik, F. Comparison of anatomical characteristics of wood in Turkish Maples with relation to the humidity of the sites. *Journal of the Institute of Wood Science*, n. 25, p. 43-8, 1970.

- Yilmaz, B., Kamiloğlu, M. U., Cimen, B., Incesu, M., Yesiloglu, T., Tuzcu, O. (2015). Effects of different interstock lengths on the yield, fruit quality and tree size of Kütdiken lemon trees in Turkey. *Journal of Global Agriculture and Ecology*, 3(2), 91-96.
- Yonemoto, Y., Matsumoto, K., Furukawa, T., Asakawa, M., Okuda, H., Takahara, T. (2004). Effects of rootstock and crop load on sap flow rate in branches of ‘Shirakawa Satsuma’ mandarin (*Citrus unshiu* Marc.). *Scientia horticultrae*, 102(3), 295-300.
- Zaefyzadeh, M., Quliyev, R. A., Babayeva, S., Abbasov, M. A. (2009). The effect of the interaction between genotypes and drought stress on the superoxide dismutase and chlorophyll content in durum wheat landraces. *Turkish Journal of biology*, 33(1), 1-7.
- ZIMMERMANN, M. H. Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag, 1983.
- Zhang, D., Jiao, X., Du, Q., Song, X., Li, J. (2018). Reducing the excessive evaporative demand improved photosynthesis capacity at low costs of irrigation via regulating water driving force and moderating plant water stress of two tomato cultivars. *Agricultural Water Management*, 199, 22-33.
- Zhou, Y., Hayat, F., Yao, J., Tian, X., Wang, Y., Zhang, X., ... Qiu, C. (2021). Size-controlling interstocks affect growth vigour by downregulating photosynthesis in eight-year-old ‘Red Fuji’ apple trees. *European Journal of Horticultural Science*, 86, 146-155.