

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA TROPICAL

GÉSSICA ALINE NOGUEIRA DOS SANTOS

COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E ADAPTAÇÃO DE COMBINAÇÕES
COPA/PORTA-ENXERTO PARA LIMEIRA-ÁCIDA “TAHITI” EM CONDIÇÕES DE
CAMPO NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS

MANAUS

2024

GÉSSICA ALINE NOGUEIRA DOS SANTOS

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E ADAPTAÇÃO DE COMBINAÇÕES
COPA/PORTA-ENXERTO PARA LIMEIRA-ÁCIDA “TAHITI” EM CONDIÇÕES DE
CAMPO NA REGIÃO METROPOLITANA DE MANAUS**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, para obtenção do título de Doutora em Agronomia Tropical.

ORIENTADOR: DR. JOSÉ FERREIRA DA SILVA

MANAUS

2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237c Santos, Géssica Aline Nogueira dos
Comportamento fisiológico e adaptação de combinações
copa/porta-enxerto para limeira-ácida "Tahiti" em condições de
campo na região metropolitana de Manaus. / Géssica Aline
Nogueira dos Santos . 2024
108 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Ferreira da Silva
Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) - Universidade Federal
do Amazonas.

1. Citrus spp. 2. citricultura. 3. limão. 4. crescimento da planta. I.
Silva, José Ferreira da. II. Universidade Federal do Amazonas III.
Título

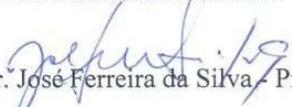
GÉSSICA ALINE NOGUEIRA DOS SANTOS

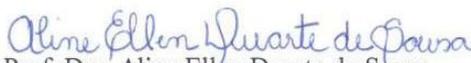
Comportamento fisiológico e adaptação de combinações copa/porta-enxerto para limeira-ácida
“Tahiti” em condições de campo na região metropolitana de Manaus

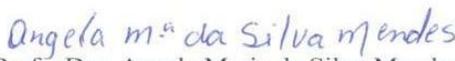
Tese de Doutorado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Agronomia Tropical como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Doutor em Agronomia Tropical, área
de concentração Produção Vegetal

Aprovada em 31 de janeiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. José Ferreira da Silva - Presidente
Universidade Federal do Amazonas


Prof. Dra. Aline Ellen Duarte de Sousa
Universidade Federal do Amazonas


Prof.ª Dra. Angela Maria da Silva Mendes
Universidade Federal do Amazonas

 Documento assinado digitalmente
FABIO DE LIMA GURGEL
Data: 02/02/2024 14:10:55-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Dr. Fábio de Lima Gurgel
Embrapa Amazônia Oriental


Prof.ª Dra. Flávia Camila Schimpl
Instituto Federal de Educação do Amazonas

A toda minha família e
amigos, pelo incentivo para
a realização deste trabalho

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Amazonas, pela infraestrutura, e a todos os técnicos, alunos e professores.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical e a todo corpo docente que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

À CAPES e a FAPEAM por ter concedido apoio financeiro por meio de bolsa de estudos.

Ao meu orientador Dr. José Ferreira da Silva, a quem eu admiro muito, pela oportunidade de aprendizado durante todos esses anos, pela confiança no meu trabalho, pelo apoio recebido durante a execução desta pesquisa e pela inestimável amizade.

À Prof^a. Dra. Flávia Schimpl, Karla Dutra e Daniely Cunha, por todo apoio na concepção, ideias e análises deste trabalho.

Ao técnico do Laboratório de Ciências de Plantas Daninhas – LCPD Gilsimar Brito de Melo, por toda ajuda durante a fase de experimento.

Ao senhor Ediney Marques, proprietário da Fazenda Santa Rosa, por ter cedido espaço para a área experimental e por todo apoio durante o período do experimento em campo.

A Embrapa Mandioca e Fruticultura e seus pesquisadores por ceder o material genético para esta pesquisa.

A minha família, em especial aos meus pais Rosinelma, um exemplo de superação a ser seguido durante toda a minha vida, Francenildo, minhas irmãs Geise, Gerlane, e Geandria por todo amor e apoio e aos meus sobrinhos Enzo Gabriel, Bela e Jane.

*Hey, you
Don't tell me there's no hope
at all
Together we stand, divided we
fall.
Pink Floyd*

RESUMO

A citricultura sem diversificação de combinações de variedades enxertadas constitui um risco para a sustentabilidade desse negócio agrícola no estado do Amazonas. O uso de novas alternativas de combinação copa e porta-enxerto possibilita o aumento da produtividade sem a necessidade de expansão das áreas de cultivo por meio do desmatamento de áreas nativas. Além disso, novas combinações de copa e porta enxerto adaptadas para a região consistem em uma boa estratégia para o cultivo nas condições locais. Este trabalho objetivou o desenvolvimento inicial de diferentes combinações de copa/porta-enxertos para a limeira-ácida 'Tahiti' nas condições edafoclimáticas da região metropolitana de Manaus. Em condição de campo foram testados 3 tipos de copas de limeira-ácida 'Tahiti' que foram 'BRS Passos', 'CNPMF 5058' e 'CNPMF 01' em combinação com três porta enxertos 'BRS Donadio', 'BRS Matta' e 'BRS J Furr' provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, totalizando nove combinações em plantio na Fazenda Santa Rosa. A avaliação das combinações foi realizada em plantas com, aproximadamente, dois anos de idade. Os índices de vigor vegetativo, taxa de cobertura da copa na linha e na entrelinha, volume médio da copa, índice de conformação, parâmetros fisiológicos como pigmentos cloroplastídicos, fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas e bioquímicos como: proteínas, compostos fenólicos e teor de prolina. A combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' apresentou melhor desempenho nos índices de crescimento, absorção de nutrientes, compostos bioquímicos e parâmetros fotossintéticos, entretanto, as outras combinações testadas também apresentaram bons valores nos parâmetros avaliados.

Palavras-chave: *Citrus* spp., citricultura, limão, crescimento da planta.

ABSTRACT

Citrus production without diversification of grafted variety combinations poses a risk to the sustainability of this agricultural business in the state of Amazonas. The use of new alternatives for combining scion and rootstock makes it possible to increase productivity without the need to expand cultivation areas through deforestation of native areas. Furthermore, new combinations of scion and rootstock adapted to the region are a good strategy for cultivation in local conditions. This work sought to evaluate the initial development of different scion/rootstock combinations for the 'Tahiti' acid lime tree in the edaphoclimatic conditions of the metropolitan region of Manaus. In field conditions, 3 types of 'Tahiti' lime tree tops were tested, which were 'BRS Passos', 'CNPMPF 5058' and 'CNPMPF 01' in combination with three rootstocks ('BRS Donadio', 'BRS Matta' and 'BRS J Furr') from the Embrapa Mandioca e Fruticultura germplasm bank, totaling nine combinations in a plantation at Fazenda Santa Rosa, municipality of Iranduba- AM. The evaluation of the combinations was carried out on plants approximately two years old based on plant survival, vegetative vigor index, crown coverage rate in the row and between rows, average crown volume, conformation index, physiological parameters (chloroplast pigments, chlorophyll a fluorescence, and gas exchange) and biochemicals (proteins, phenolic compounds and proline content). The combination 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' showed better performance in terms of growth rates, nutrient absorption, biochemical compounds and photosynthetic parameters, however, the other combinations tested also presented good values in the evaluated parameters.

Keywords: *Citrus* spp., citriculture, lemon. plant growth.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Morfologia do limão. Fonte: CEAGESP (2022). Ilustrações: Bertoldo Borges Filho.....20
- Figura 2. Principais variedades de limão comercializadas na CEAGESP. Fonte: CEAGESP (2022). Ilustrações: Bertoldo Borges Filho21
- Figura 3. Variação mensal de precipitação, temperatura mínima e temperatura máxima durante o período do experimento. Iranduba, Amazonas.53
- Figura 4. Box plot da (A) Altura (H); (B) Índice de conformação da copa (IC); (C) Volume da copa (VC); e (D) Compatibilidade de copa e porta-enxerto (C) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).60
- Figura 5. Box plot do (A) Índice vegetativo (IVV); (B) Taxa de cobertura na entrelinha (TCCE); (C) Taxa de cobertura na linha (TCCL) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).61
- Figura 6. Variação mensal de precipitação, temperatura mínima e temperatura máxima durante o período do experimento. Iranduba, Amazonas.77
- Figura 7. Índice SPAD em folhas de combinações copa/ porta enxerto. Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as barras representam o erro padrão.....82
- Figura 8. Box plot da (A) taxa de assimilação de CO₂ (A), (B) transpiração (E), (C) condutância estomática (gsw) e (D) concentração interna de CO₂ (Ci) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro

mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).....83

Figura 9. Box plot da (A) eficiência instantânea de uso da água (EUA) (B) eficiência intrínseca no uso da água (EiUA) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).....84

Figura 10 Box plot da relação A/C_i , que representa a eficiência intrínseca da carboxilação de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).....85

Figura 11. Box plot da (A) fluorescência inicial (F_0) e (B) fluorescência máxima (F_m) e (C) rendimento quântico efetivo (F_v/F_m) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).....86

Figura 12. Box plot do (A) teor de clorofila a, (B) teor de clorofila b, (C) relação de clorofila sobre clorofila b e (D) teor de carotenóides de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).87

Figura 13. Teor de proteínas, (B) prolina e (C) compostos fenólicos totais em folhas de combinações copa/ porta enxerto. Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as barras representam o erro padrão.88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise de solo da área de experimento com limão. Iranduba, Amazonas, 2021.	54
Tabela 2. Valores reais do diâmetro da copa na linha (DL) e entre linha (DE), espaçamento teórico e produção teórica das combinações de copas enxertadas sobre os porta-enxertos, nas condições de Iranduba-AM.	62
Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), Manganês (Mn), e zinco (Zn), na parte aérea combinações copa/ porta enxerto de limeira ácida 'Tahiti'. Iranduba, Amazonas, 2022.	63

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Os CITROS	18
2.3 O USO DO LIMÃO TAHITI	21
2.4 O MERCADO DO LIMÃO TAHITI	22
2.5 PRINCIPAIS DOENÇAS DO LIMÃO 'TAHITI'	24
2.6 UTILIZAÇÃO DE COPAS E PORTA ENXERTO NO CULTIVO DA LIMEIRA-ÁCIDA TAHITI	26
2.6.1 Limeira ácida Tahiti 'CNPMF 01'-Copa	28
2.6.2 Limeira ácida 'CNPMF 5059'- Copa	29
2.6.3 Limeira ácida 'BRS Passos'- Copa	29
2.6.4 Trifoliata 'Flying Dragon' - Porta enxerto	30
2.7 CONDIÇÕES AMBIENTAIS	33
2.7.1 Trocas gasosas foliares, fluorescência da clorofila a pigmentos cloroplastídicos	35
2.7.2 Teor de proteínas	37
2.7.3 Teor de prolina	37
2.7.4 Teor de compostos fenólicos	38
3 OBJETIVO	40
3.1 OBJETIVO GERAL	40
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	40
REFERÊNCIAS	41
4 ARTIGO I- CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E ACÚMULO DE NUTRIENTES DE LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOBRE PORTA ENXERTO 'FLYING DRAGON'	49
RESUMO	49
4.1 INTRODUÇÃO	51
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	52
4.2.1 Material genético e condições experimentais	52

4.2.2	<i>Implantação do experimento</i>	53
4.2.3	<i>Análise de crescimento e sobrevivência</i>	56
4.2.4	<i>Estimativa de plantas por hectare</i>	57
4.2.5	<i>Teor de nutrientes foliares</i>	57
4.2.6	<i>Delineamento experimental e análise estatística</i>	57
4.3	RESULTADOS	59
4.3.1	<i>Análise de crescimento</i>	59
4.3.2	<i>Estimativa de plantas por hectare</i>	62
4.3.3	<i>Teor de nutrientes foliares</i>	63
4.4	DISCUSSÃO	64
4.4.1	<i>Análise de crescimento</i>	64
4.4.2	<i>Teor de nutrientes foliares</i>	66
4.5	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69
	5 ARTIGO II- AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE COMBINAÇÕES COPA/ PORTA ENXERTO PARA LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' EM IRANDUBA	72
	RESUMO	72
5.1	INTRODUÇÃO	74
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	77
5.2.1	<i>Índice SPAD</i>	78
5.2.2	<i>Trocas gasosas foliares</i>	78
5.2.3	<i>Fluorescência da clorofila a</i>	79
5.2.4	<i>Teores de pigmentos cloroplastídicos</i>	79
5.2.5	<i>Determinação de proteínas totais</i>	79
5.2.6	<i>Quantificação do teor de prolina</i>	80
5.2.7	<i>Teor de compostos fenólicos totais</i>	80
5.2.8	<i>Análise estatística</i>	80
5.3	RESULTADOS	82
5.4	DISCUSSÃO	89
5.5	CONCLUSÃO	99

6 CONCLUSÕES GERAIS.....	100
REFERÊNCIAS.....	101

1 INTRODUÇÃO

A lima ácida 'Tahiti', popularmente conhecida como limão 'Tahiti', é muito utilizada na gastronomia, indústria de sucos, indústria farmacêutica e mercado *in natura*. Devido ao seu uso diversificado, está entre as dez frutas mais comercializadas na CEAGESP, em São Paulo. Proprietários de áreas de cultivos estão cada vez mais investindo na cultura devido ao fácil manejo e alta rentabilidade.

O uso de porta-enxerto na citricultura é uma prática estabelecida e amplamente adotada pelos produtores. No estado do Amazonas, não se tem informações sobre o desenvolvimento inicial e estabelecimento de mudas combinadas de limoeiro, em função de poucas combinações de copa/porta enxerto disponíveis no mercado.

O uso de novas alternativas de combinação copa/porta-enxerto permitirá o aumento da produtividade sem que haja expansão, em função do desmatamento, das áreas de cultivo sobre as áreas nativas. A falta de geração e adaptação de tecnologias para a cultura dos citros nas condições locais no estado do Amazonas e a alta dependência por informações geradas em outras regiões para compor o sistema de produção dessa cultura é um desafio a ser superado para a consolidação e desenvolvimento da citricultura no Estado.

A limeira ácida "Tahiti", apresenta uma boa produtividade, que pode alcançar mais de 200 kg de frutos por planta. Esses frutos podem ser utilizados para consumo *in natura*, nos mercados interno e externo ou na indústria para suco concentrado. Além disso, o óleo essencial extraído da casca tem sido utilizado na indústria de alimentos e perfumaria (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003).

Técnicas de manejo e seleção dos genótipos mais adaptados a região são imprescindíveis para o aumento da produção de um produto cuja utilização é diversificada. Para verificar a adaptação das combinações copa/ porta-enxerto em limeira ácida "Tahiti" pode-se avaliar parâmetros que indicam precocemente se essas plantas jovens compostas pelas combinações copa/porta-enxerto estão em boas condições, diminuindo o tempo de seleção de genótipos produtivos.

Para avaliar plantas em determinadas condições climáticas, são utilizados diversos aspectos morfológicos de crescimento (HASSANZADEH KHANKAHDANI; RASTEGAR; GOLEIN; GOLMOHAMMADI *et al.*, 2019). Além disso, avaliar como as

plantas assimilam os nutrientes também é importante (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Apesar disso, estudos mais aprofundados devem ser realizados para entender o comportamento após a introdução de novos genótipos a serem cultivados em determinada região. Diante disso, a ecofisiologia tem sido utilizada para mensurar a eficiência das plantas quanto a realização da fotossíntese em ambientes diferentes ou quando submetidas a um determinado tipo de estresse (HASANUZZAMAN, 2020; RAZA; ASHRAF; ZOU; ZHANG *et al.*, 2020).

Os parâmetros fisiológicos, através de trocas gasosas como a taxa de assimilação de CO₂, transpiração, condutância estomática e concentração interna de CO₂, também são afetados por fatores ambientais (MACHADO; OLIVEIRA; COSTA, 2011; SHIMAZAKI; DOI; ASSMANN; KINOSHITA, 2007; TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). O uso de parâmetros relacionados a fluorescência da clorofila *a* fornece informações importantes sobre o desempenho do sistema fotossintético (BHAGOOI; MATTAN-MOORGAWA; KAULLYSING; LOUIS *et al.*, 2021). Além disso, compostos bioquímicos tem sido utilizados como marcadores de estresse em estudo de plantas (HASANUZZAMAN, 2020).

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivo geral buscar a sustentabilidade ambiental e econômica no agronegócio dos citros no Amazonas pela geração, adaptação e transferência de tecnologias por meio de boas práticas agrícolas para a diversificação de combinações de copas/porta-enxertos nos pomares de limeira ácida 'Tahiti'.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Os citros

Os citros compõem a família, Rutaceae, uma das 21 famílias que formam a ordem Geraniales. Esta família é composta por cerca de 162 gêneros incluindo mais de 1600 espécies divididas em 7 subfamílias e 12 tribos, e constituem a maioria das culturas de frutas, como laranjas, tangerinas, clementinas, limões, limas, pomelos e toranjas nos ambientes mediterrâneos e subtropicais. Uma das subfamílias de Rutaceae, a Aurantioideae, possui vários gêneros, incluindo o gênero *Citrus*, exibindo uma forma de frutificação que dá origem a uma baga com o nome de hesperídio. Esses frutos são originários de únicos ovários com cavidade dividida em lóculos (carpelos) correspondentes aos segmentos que envolvem as vesículas de suco, os chamados “gominhos”. Os citros são culturas que geram frutos apreciados em todo o mundo devido a suas características organolépticas, entretanto, suas origens são confusas e desconhecidas até muito recentemente e, portanto, seu local de nascimento tem sido motivo de controvérsia nos últimos séculos (TALON; WU; GMITTER; ROKHSAR, 2020).

Muitos anos de cultivo de citros geraram miríades de cultígenos, que consistem em plantas que foram cruzadas ou selecionadas artificialmente pelo homem e, portanto, apresentam misturas complexas de caracteres botânicos que são muito difíceis de classificar. A delimitação taxonômica de espécies em *Citrus* também é muito complicada pelo alto grau de poliembrionia, quando a formação de embriões nucelares como exibidos por híbridos cítricos intergenéricos e intragenéricos e que basicamente reproduzem o fenótipo da variedade mãe (GENTILE; LA MALFA; DENG, 2020).

Existem dois sistemas taxonômicos básicos atuais dos citros, propostos por TANAKA (1954) e SWINGLE e REECE (1967), e eles são tão diferentes que são considerados dois polos extremos de visões de um mesmo gênero. Enquanto o primeiro autor, por exemplo, identifica 36 espécies diferentes de mandarins, para o último são apenas 3. Entre esses dois extremos, outras proposições foram acrescentadas com nomenclaturas e classificações particulares. Nas últimas décadas, essa indefinição trouxe dificuldades para muitos avanços e desenvolvimentos científicos essenciais para delimitar o próprio conceito de espécie e gênero. Desse

modo, a comprovação do local de nascimento dos citros só pode ser respondida através de fundamentos sólidos que suportam o conceito dos citros.

Na citricultura, o melhoramento tradicional possibilitou a instalação de diversas variedades e porta-enxertos com melhores características agronômicas; entretanto, nessas espécies, as técnicas convencionais de reprodução são prejudicadas por vários aspectos, como a longa fase juvenil, o alto índice de heterozigose, a esterilidade masculina e feminina e a ocorrência de apomixia (TALON; WU; GMITTER; ROKHSAR, 2020).

2.2 O limão 'Tahiti'

Existem diferentes hipóteses sobre a origem dos citros, em uma delas, acredita-se que tenham surgido nas regiões tropicais e subtropicais do sudeste da Ásia e depois se dispersaram para os outros continentes. Acredita-se que a lima tipo 'Tahiti' tenha sido introduzida na região do Mediterrâneo através do Irã (cal 'persa'). Comerciantes portugueses provavelmente o transportaram para o Brasil, de onde aparentemente foi levado para a Austrália por volta de 1824. Do Taiti, chegou à Califórnia entre 1850 e 1880 e à Flórida em 1883, o que explicaria seu nome (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). A filogenia e taxonomia dos Citrus é incerta e contestável, principalmente por conta das altas mutações e ampla dispersão de cultivo durante a história (TALON; WU; GMITTER; ROKHSAR, 2020). Existem duas classificações do gênero *Citrus*, a Swingle composta por 16 espécies e a Tanaka, que contém 162 espécies, sendo nesta última onde o limão tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) se enquadra (SWINGLE; REECE, 1967; TANAKA, 1954)

A classificação de Swingle, é um sistema mais moderno, que inclui 162 espécies, pertencentes à divisão Magnoliophyta, subdivisão Magnoliophytina, classe Magnoliopsida, subclasse Rosidae, ordem Sapindales subordem Geranineae, família Rutaceae, subfamília Aurantioideae, tribo Citreae, subtribo Citrineae (EMBRAPA, 2005).

Durante anos, a origem que resultou na formação do limão Tahiti era incerta, mas recentemente, CURK; OLLITRAULT; GARCIA-LOR; LURO *et al.* (2016), realizaram análises da diversidade, estrutura genética e origem de limas e limões. Foram utilizados estudos de filogenia materna com base em marcadores mitocondriais e cloroplastídicos e análise de estrutura nuclear com base na avaliação do nível de ploidia e no uso de 123 marcadores, incluindo 73 táxons básicos diagnósticos de

polimorfismo de nucleotídeo único (SNP) e marcadores indel. Entre os limões triplóides, os acessos de *C. latifolia* (tipos 'Tahiti' e 'Persa') resultam da fertilização de um óvulo haplóide de *C. limon* por um gameta diplóide de *C. aurantifolia*.

Comumente conhecida por limão Tahiti, a *Citrus latifolia* (Yu. Tanaka) na verdade é uma lima ácida Tahiti, e é considerada uma das variedades mais importantes da fruticultura. Possui formato arredondado, coloração casca verde, coloração da polpa verde esbranquiçada, textura da casca lisa a ligeiramente rugosa, ausentes de sementes, com suculência alta, espessura da casca média e média acidez (CEAGESP, 2022b).

Na figura 1, é representado os componentes da morfologia do limão.

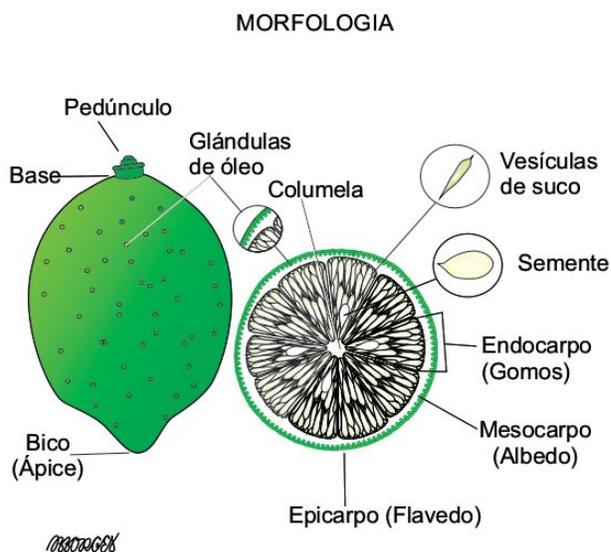


Figura 1. Morfologia do limão. Fonte: CEAGESP (2022). Ilustrações: Bertoldo Borges Filho

As principais variedades de limão comercializadas na CEAGESP são representadas na figura 2.

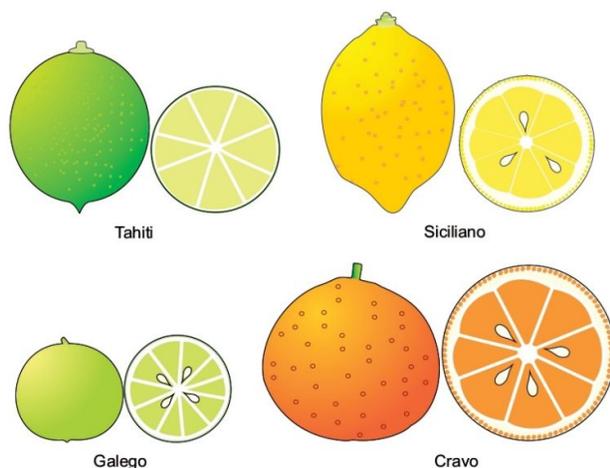


Figura 2. Principais variedades de limão comercializadas na CEAGESP. Fonte: CEAGESP (2022). Ilustrações: Bertoldo Borges Filho

Para fins de comercialização, os requisitos mínimos de qualidade para limão Tahiti são: porcentagem de suco em relação a massa total de 40% e grau brix em 7,7, valores para o Estado de São Paulo (CEAGESP, 2011). Os tamanhos variam de acordo com a classificação A (maior que 60 milímetros), B (de 50 a 60 milímetros) e C (menor que 50 milímetros) em diâmetro equatorial.

2.3 O uso do limão Tahiti

O limão, assim como os outros citrinos é ácido. O pH para a casca de limão e suco de limão ficam em torno de 4,5 e 2 respectivamente. Os componentes básicos possuem valores próximos a parâmetros correspondentes a casca de limão e suco de limão incluindo: Brix 2% e 8%, cinzas $1.780 \pm 0,004\%$ e $0,314 \pm 0,002\%$, teor de lipídios $2,93 \pm 0,044\%$ e $0,542 \pm 0,051\%$. O teor de vitamina C no suco de limão é alto, chegando a $8,392 \pm 0,28$ mg/g (PHAM; NGUYEN; DINH; KIEU *et al.*, 2020).

O limão é utilizado na gastronomia de forma ampla em pratos doces, salgados, agridoces e como intensificador de sabores. Além disso, o limão também é utilizado para cuidados para diversos problemas de saúde já que frutas cítricas e sucos têm sido considerados uma parte valiosa de uma dieta saudável e nutritiva (ROSSI; PANDOLFI, 2019).

Doenças cardiovasculares são caracterizadas por várias disfunções metabólicas e estudos epidemiológicos indicam que perfis lipídicos séricos aumentados, fibrinogênio plasmático elevado e fatores de coagulação desempenham

papéis críticos. A administração de alho mais suco de limão resultou em melhora nos níveis lipídicos, fibrinogênio e pressão arterial de pacientes com hiperlipidemia, uma doença em que há altos níveis de partículas de gordura no sangue (ASLANI; ENTEZARI; ASKARI; MAGHSOUDI *et al.*, 2016).

ARAS; KALFAZADE; TUĞÇU; KEMAHLI *et al.* (2008) sugerem que o suco de limão pode ser uma alternativa no tratamento de cálculos urinários de cálcio em pacientes com hipocitratúria (baixa concentração de citrato na urina) responsável pela causa de litíase renal, conhecidos como os cálculos renais. Análises exploratórias realizadas recentemente por RUGGENENTI; CARUSO; CORTINOVIS; PERNA *et al.* (2022) propõem que a suplementação de suco de limão fresco à dieta pode prevenir a recorrência de cálculos em pacientes com formação de cálculos renais (nefrolitíase) por oxalato de cálcio.

Alguns estudos iniciais trazem novas perspectivas na utilização do limão na dieta para tratamentos de doenças. KHAN; KHAN; AFROZ e SIDDIQ (2010) investigaram os efeitos hipolipemiantes, ou seja, a capacidade de reduzir o colesterol, do suco de limão cítrico em coelhos após dieta rica em colesterol por quatro semanas. O embasamento foi de que a aterosclerose (endurecimento da parede arterial) é a principal causa de doenças cardíacas e acidente vascular cerebral e é provável que os níveis de lipídios no sangue são provavelmente o principal determinante do desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Os autores observaram que o suco de limão cítrico (1ml/kg/dia) reduziu os níveis de colesterol, triglicéridos; níveis de lipoproteína de baixa densidade e resultou em um aumento na lipoproteína de alta densidade. Desse modo, esses resultados sugerem que os efeitos hipocolesterolêmicos do suco de limão cítrico podem ser devidos ao seu efeito antioxidante.

2.4 O mercado do limão Tahiti

Em 2020/2021 o maior produtor de limas e limões frescos foi o México, com 2.999.000 toneladas, seguido da Argentina com 1.800.000 toneladas e da União Europeia com 1.720.000 toneladas. O Brasil contribui com aproximadamente 9.532.000 toneladas. Os maiores consumidores dessa classe de alimentos são México, União Europeia e Estados Unidos e a produção global para 2021/2022 prevê um aumento de 4% (USDA, 2022).

A safra de 2021/22 está previsto um recorde de 9,5 milhões de toneladas devido maior produção em México, Turquia e Estados Unidos. Com maior disponível suprimentos, recorde global consumo e exportações são esperadas.

A previsão para produção no México é de 7% para um recorde de 3,2 milhões de toneladas em clima favorável e maior área em Oaxaca e Veracruz. Consumo e exportações estão em níveis recordes devido à maior oferta. Espera-se que os Estados Unidos continuem sendo o principal mercado respondendo por quase todas as exportações do México.

A produção da Argentina deverá cair 150.000 toneladas para 1,7 milhão como resultado de um rolamento alternativo ano fora. Consumo, frutas para processamento e exportações estão todos em baixa com a oferta mais baixa.

A produção da UE está projetada 9 por cento menor para 1,6 milhão de toneladas como resultado do clima desfavorável em Espanha e Itália. Consumo e frutas para processamento caem com menor produção enquanto importações espera-se que subam.

A produção da Turquia está prevista para subir 300.000 toneladas para um recorde de 1,4 milhão devido ao clima favorável e maior área e produtividade. O consumo está previsto para cima em um terço e as exportações em um quarto com o salto em suprimentos levando a novos registros. Espera-se que a Rússia e o Iraque continuem sendo os principais mercados de exportação. A produção dos EUA está prevista 10% maior para 885.000 toneladas em uma safra maior na Califórnia. Com o maiores colheitas, consumo e exportações são projetados para cima, enquanto as importações devem cair. A produção da África do Sul está prevista para subir 4 por cento para um recorde de 650.000 toneladas como resultado de clima e área mais alta. A produção recorde pelo sexto ano consecutivo também deve levar a um sexto ano de exportações recordes. A UE deverá continuar a representar cerca de 40 por cento das exportações.

Em 2017, foram produzidas 737.227 toneladas de limão no Brasil. O estado de São Paulo responde por mais de 75% dessa produção, e na região norte, o estado do Pará é o maior produtor de limão com cerca de 3,8% da produção brasileira, seguido pelo estado do Amazonas, responsável por 0,55% da produção do país, onde os municípios que mais produzem ficam na região metropolitana da capital: Iranduba

(1.348 toneladas), Rio Preto da Eva (242 toneladas), Presidente Figueiredo (186 toneladas), e Manaus (55 toneladas) (IBGE, 2017).

O limão, é o 7º produto mais comercializado na CEAGESP. No ano de 2017 foram comercializadas 114.439,62 toneladas de limão. As variedades mais comercializadas no Entrepasto Terminal de São Paulo da CEAGESP são: Tahiti (96%), Estrangeiro Siciliano (2%), Siciliano (1%), Rosa (0,7%) e galego (0,04%). As cidades que mais enviam limão Tahiti para o terminal são: Itajobi –SP (21,3%) e Paranapuã – SP (16,7%)(CEAGESP, 2022a).

Apesar de ser produzido no ano todo, o limão Tahiti é encontrado mais barato entre os meses de dezembro a abril. Em fevereiro de 2021, o produto estava sendo comercializado ao preço médio de R\$ 1,78/kg no atacado (CEAGESP, 2021). No estado do Amazonas o preço médio praticado é R\$1,77 (CONAB, 2019) e grande parte do limão consumido do estado é vindo do estado do Pará, mais precisamente da cidade de Monte Alegre. Manaus, a capital do estado, consome cerca de 90% da produção de limão ‘Tahiti’ deste município.(ADEPARA, 2021). O aumento da produtividade local, além de diminuir a dependência do mercado de outras regiões do país e das variações econômicas que envolvem a formação de preço do produto, agrega geração de renda e emprego na atividade agrícola.

O mercado de frutas é bastante competitivo, e devido as peculiaridades inerentes do agronegócio, é necessário buscar inovações. Para o consumo de frutas de qualidade preconiza-se, principalmente, que se tenha a base agricultável em normas e legislações que visam uma responsabilidade sustentável. Para isso, é necessário a escolha de genótipos adaptados a uma determinada região e que também sejam resistentes as principais doenças da que acometem a cultura.

2.5 Principais doenças do limão ‘Tahiti’

As condições de temperatura e umidade na região amazônica favorecem a ocorrência de diversos tipos de patógenos em plantas cultiváveis.

Em limão ‘Tahiti’, a gomose de *Phytophthora* é causada pelos fungos *P. parasitica* e *P. citrophthora*, e atinge grande parte dos plantios. Temperaturas favoráveis estão entre 30 °C e 25 °C (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003), por isso, o clima quente e úmido da região Amazônica é bastante favorável a esse patógeno. Os sintomas incluem: exsudação de goma, escurecimento dos tecidos

abaixo da casca, clorose intensa das folhas correspondendo ao lado do tronco ou das raízes principais onde ocorrem as lesões. Os frutos mais próximos ao solo podem ser contaminados apresentando podridão seca de cloração marrom-parda que apresentam forte cheiro. (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003).

Causada pelo fungo *Corticium salmonicolor* a rubelose se destacando no ataque a limas, incluindo a limeira ácida 'Tahiti'. Essa doença provoca a morte dos ramos com o aparecimento de lesões que, geralmente, se iniciam nas forquilhas dos ramos principais. Nesses lugares o teor de umidade é maior favorecendo o desenvolvimento do micélio fungo com um revestimento esbranquiçado sobre o tecido apodrecido da casca. Na parte aérea, as plantas atacadas por esse patógeno apresentam folhas amareladas (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003)

A verrugose em lima ácida 'Tahiti' pode ser causada pelos fungos *Elsinoe fawcetti* e *E. australis*. O nome dessa doença deriva do seu principal sintoma, que são lesões que parecem bastante com verrugas de cor palha ou acinzentada (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). O Cancro cítrico é uma doença causada pela bactéria *Xhantomonas axonopodis* pv. *citri* que provoca lesões nas folhas, frutos e ramos e, conseqüentemente queda de folhas frutos e de produção.

A melanose causada pelo fungo *Phomopsis citri* é uma doença que também está presente em zonas agrícolas tropicais e ocorre na região amazônica. É importante em pomares onde a produção destina-se ao mercado de frutos de mesa, devido as lesões superficiais na casca (AZEVEDO, 2015)

A mancha preta causada por *Guignardia citricarpa* é uma doença de grande importância causada por um fungo que afeta laranjas, limões e tangerinas. Sua disseminação ocorre através de mudas, restos de material vegetal e deixa os frutos contaminados impróprios para a comercialização. Como o próprio nome diz, é caracterizada por manchas escuras quando os frutos estão amadurecendo e em casos mais severos, ocorre a queda de frutos novos (AZEVEDO, 2015).

Na região amazônica, também ocorrem outras doenças como a mancha aureolada, causada por *Thanatephorus cucumeris*. Essa doença é bem comum na região norte do Brasil, mas especificamente em pomeleiros, laranjas doces e tangerineiras e ainda não foi relada em limeiras ácidas e limoeiros (AZEVEDO, 2015).

Causada por *Mycosphaerella citri*, a mancha graxa é caracterizada por manchas escuras, lisas, brilhantes com aspecto de graxa nas folhas infectadas.

Normalmente está relacionada a alta umidade relativa do ar e altas temperaturas (AZEVEDO, 2015).

A leprose é uma das principais doenças da citricultura e atinge, principalmente, laranjeiras doces. Provocada pelo vírus *Citrus leprosis* vírus (CiLV) e transmitido pelo ácaro *Brevipalpus phoenicis*, pode causar perdas de produção e redução da vida útil da árvore afetada (AZEVEDO, 2015).

Além das doenças, o limão 'Tahiti' também pode apresentar uma desordem fisiológica chamada de podridão estilar nos frutos, que ocorre em estágio avançado de maturação dos frutos.

2.6 Utilização de copas e porta enxerto no cultivo da limeira-ácida Tahiti

A enxertia é um método utilizado há centenas de anos, que consiste na união de duas espécies diferentes. O processo acontece entre uma parte da planta chamada enxerto (ou cavaleiro), inserida em outra parte de outra planta, raiz ou o caule, denominada como porta-enxerto (ou cavalo) (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

Após a enxertia, as células rompidas colapsam e as células intactas próximas à junção do enxerto se aderem ao outro tecido. Esse contato se fortalece com o tempo à medida que as células se interdigitam. Posteriormente, polímeros naturais chamados de polissacarídeos, incluindo as pectinas, são dispostos na junção do enxerto. Simultaneamente, ocorre a divisão celular, ocasionando na produção de uma massa de células pluripotentes chamada calo. Acredita-se que esse é tecido semelhante a células-tronco, parecido com o processo de cicatrização de feridas em animais que requer divisão e diferenciação de células-tronco (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

A diferenciação do calo na junção do enxerto origina dois principais tipos de tecido vascular da planta, o floema e o xilema. O floema consiste em células vivas e transporta nutrientes e macromoléculas, o xilema é formado por células mortas e transporta água e minerais. Os plasmodesmas são responsáveis por conectar as células do citoplasma entre as células vegetais, e eles se forma através da junção do enxerto. Os enxertos incompatíveis não exibem essa formação. A divisão celular e a formação de calo acontecem, entretanto, a força de fixação é menor e a diferenciação do floema e do xilema pode não acontecer. Para isso, os produtores geralmente

aumentam a pressão física ao redor de um enxerto usando fita adesiva ao redor da junção do enxerto (MELNYK; MEYEROWITZ, 2015).

O porta-enxerto influencia as respostas metabólicas do enxerto a estresses abióticos. A copa pode influenciar no porta-enxerto quanto ao desenvolvimento radicular, resistência ao frio, à seca e a doenças. No Amazonas, tem-se verificado que as copas mais sensíveis à gomose, com o porta-enxerto limão Cravo, são a limeira ácida Tahiti e a tangerineira Rio. Nessas cultivares é necessária a aplicação preventiva de fungicidas à base de Fosetyl-Al. Na escolha da combinação, é preciso ter bem definida a copa, pois nem todos os porta-enxertos são compatíveis (SILVA; BERNI; SOUZA; DE SOUZA *et al.*, 2004)

Para citros, sabe-se que existem algumas estratégias morfofisiológicas para lidar com o déficit hídrico, e que isso depende do porta enxerto. Raízes de limoeiro Cravo e citrumeleiro Swingle são mais condutoras de água do que as de laranjeira Valência. O limoeiro Cravo – a espécie tolerante à seca tem um melhor controle do estado da água na folha, devido à sinalização química e regulação estomática eficiente para diminuir a perda de água, e também a diminuição da condutividade hidráulica radicular para economizar recursos hídricos sob condições limitantes (MIRANDA; ESPINOZA-NÚÑEZ; SILVA; PEREIRA *et al.*, 2022). Além disso, o citrumeleiro Swingle e a laranjeira doce Valencia foram capazes de recuperar a fotossíntese e a condutância estomática mais rapidamente do que o limão Cravo após reidratação (MIRANDA; ESPINOZA-NÚÑEZ; SILVA; PEREIRA *et al.*, 2022).

A limeira ácida ‘Tahiti’ possui características peculiares de fitossanidade em relação as outras variedades de copas utilizadas na citricultura. Por exemplo, é a única variedade de citros onde a macha preta dos citros não foi relatada (*Phyllosticta citricarpa*) (LARANJEIRA; AMORIM; BERGAMIN FILHO; AGUILAR-VILDOSO *et al.*, 2005) . Além disso, essa variedade de copa não manifesta os sintomas da clorose variegada dos citros, e nem hospeda seu hospedeiro, a bactéria *Xylella fastidiosa* (LARANJEIRA; FEICHTENBERGER; BASSANEZI; SPÓSITO, 2005).

Considerando o uso de porta-enxertos, verifica-se que há pequena quantidade de trabalhos já realizados e feitos no Amazonas para a limeira ácida ‘Tahiti’ (PASSOS; BARBOSA; CUNHA SOBRINHO; ABREU, 2012; SILVA; SOUZA; BERNI; SOUZA *et al.*, 2007) O uso de outras espécies que não o limoeiro ‘Cravo’ como porta-

enxerto é importante e necessário, uma vez que os fungos do gênero *Phytophthora* encurtam a vida útil das plantas com esse porta-enxerto.

Na região de São Paulo, FIGUEIREDO; STUCHI; DONADIO; TEÓFILO SOBRINHO *et al.* (2002) recomendam como porta-enxertos alternativos ao limão-‘Cravo’ em ordem de produtividade tangelo-‘Orlando’, citrange-‘Morton’, citrumelo-‘Swingle’, limão-‘Volkameriano’, trifoliata-‘EEL’. Apesar de ‘Orlando’ ser extremamente sensível à seca. As menores produções são ‘Sunki’, ‘Cleópatra’, Batangas’ e ‘Oneco’ e pela laranja-‘Caipira DAC’, que não devem ser utilizadas como porta-enxertos para ‘Tahiti’.

Há alguns anos, SILVA; SOUZA; BERNI; SOUZA *et al.* (2007) em busca de uma alternativa para a citricultura no Amazonas, constataram que as limeiras ácidas Tahiti 02 e Tahiti ‘Quebra-galho’ não apresentaram boa adaptação às condições edafoclimáticas da região, ao contrário das limeiras ácidas Tahiti CNPMF e Tahiti 01. Até então, SILVA; BERNI; SOUZA; DE SOUZA *et al.* (2004) recomendavam para limeira ácida Tahiti: limoeiro Volkameriano, tangerineira Cleópatra, tangerineira Sunki, e citrumeleiro Swingle. Além disso, em um estudo realizado em 2002, a copa de limeira ácida Tahiti adicionou maior incremento do caule da tangerineira Sunki, o porta-enxerto de menor crescimento com copa própria e os porta-enxertos Sunki x English 264 e Sunki x English 256 surgiram como novas opções para a limeira ácida Tahiti, nas condições edafoclimáticas de Manaus, Amazonas (SILVA; SOUZA; CUNHA SOBRINHO, 2002).

Neste trabalho, foram utilizados materiais (copa e porta-enxerto) provenientes da Embrapa Mandioca Fruticultura, de Cruz das Almas. Os clones de copa e porta enxerto foram amplamente testados pela instituição.

2.6.1 Limeira ácida Tahiti ‘CNPMF 01’-Copa

A limeira ácida Tahiti CNPMF possui tonalidade verde-claro e limbo recurvado com tamanho médio, peso em torno de 130 gramas, suculento, sem sementes, ovalado, e com sabor ácido. Tem como característica, a casca lisa, cor verde intenso, uniforme e polpa citrina, e floresce o ano todo, principalmente em setembro e possui maturação o ano todo, com exceção de setembro e novembro. Possui copa arredondada, porte alto, circunferência em torno de 18 m e diâmetro do tronco (a 30 cm do solo) de cerca de 20 cm, quando enxertada no limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia*

OSBECK). A produtividade desta copa está em torno de 40 toneladas por hectare. Pode ser propagada via borbulha ou mudas e atende ao mercado de fruta *in natura* para o mercado interno e externo (PASSOS; SOARES FILHO; BARBOSA, 2009). O 'Tahiti CNPMF 01' apresenta caneluras acentuadas, não apresenta sintomas de descamamento eruptivo, está livre do vírus do exocorte e é considerado resistente à bactéria *Xylella fastidiosa*, agente causal da CVC (PASSOS; SOARES FILHO; BARBOSA, 2009).

2.6.2 Limeira ácida 'CNPMF 5059'- Copa

A cultivar 'CNPMF 5059' é originada de plantas adultas enxertadas no citrumeleiro 'Swingle' *C. paradisi* Macfad. x *Poncirus trifoliata* (L.) Raf). Possui a copa arredondada, com volume de 27 m³, porte médio (3,0 m de altura). O clone está livre do agente da clorose variegada dos citros (CVC), porém apresenta caneluras do vírus da tristeza dos citros (CTV), devendo-se evitar seu plantio em regiões onde ocorram temperaturas baixas, onde essa doença ocorre com mais frequência. A cor predominante é na tonalidade verde-claro e tem o limbo recurvado. Os frutos possuem casca lisa, cor verde intenso, uniforme e polpa cítrica, possui tamanho pequeno, formato oval, com peso de 96 g, com 44% de suco, não possui sementes. As características do suco são: sólidos solúveis totais (SST) 7,5%, acidez total (AT) 6,9% e relação SST/AT 1,1. A floração ocorre principalmente em setembro e a maturação durante o ano todo, com maior intensidade no primeiro semestre. A produtividade normalmente ocorre aos oito anos de idade, no espaçamento de 5,5 m x 4,0 m, em torno de 51 t de frutos por hectare, com eficiência produtiva de 2,9 kg de frutos/m³ de copa (PASSOS; BARBOSA; CUNHA SOBRINHO; ABREU, 2012).

2.6.3 Limeira ácida 'BRS Passos'- Copa

A limeira ácida 'BRS Passos' é um clone nucelar (os embriões possuem o mesmo genoma da planta-mãe e, ao germinarem, dão origem a plantas idênticas àquelas que forneceram as sementes). Foi obtido na Embrapa Mandioca e fruticultura, na década de 1970, via semente e avaliado por vários anos em relação ao vigor, produtividade e fitossanidade.

Esse clone apresenta produtividade superior à média regional (t/ha) e tendência a florescimento ao longo do ano. Possui resposta à indução de florescimento por manejo da adubação permitindo a produção na entressafra, além de maior tempo de prateleira e menor taxa de abortamento floral. Enxertada no limoeiro 'Cravo' C. limonia Osb, possui copa arredondada, com porte médio (aproximadamente 4,5 m de altura e 4,0 m de diâmetro aos 11 anos de idade), com folhas na cor verde-claro e limbo recurvado. Os frutos possuem formato oval com ligeira protuberância em volta do pedúnculo. Os frutos possuem tamanho pequeno a médio com peso superior a 130 g com casca rugosa, na cor verde mediano a intenso, uniforme e polpa citrina. Contém cerca de 36% de suco, sem sementes, acidez total (AT) de 5,7%, sólidos solúveis totais (SS) de 9,3% e relação SS/AT = 1,6. A floração ocorre durante o ano todo, mas principalmente em setembro. A maturação ocorre no segundo semestre. A produtividade (aos 11 anos de idade, no espaçamento de 8,0 x 5,0 m), está em torno de 65 t/ha. Possui copa arredondada, porte alto, circunferência em torno de 15 m e diâmetro do tronco (a 30 cm do solo) de cerca de 20 cm, quando enxertada no limoeiro 'Cravo'. As plantas de origem da 'BRS Passos' (plantas básicas) estão livres do agente da clorose variegada dos citros (CVC). A 'BRS Passos' é uma cultivar de domínio público, sendo que o material propagativo para viveiristas constituírem borbulheiras pode ser obtido na Embrapa Produtos e Mercado (PASSOS; SOARES FILHO; JUNQUEIRA; FALEIRO *et al.*, 2012).

2.6.4 Trifoliata 'Flying Dragon' - Porta enxerto

Uma das estratégias utilizadas para ampliação da produtividade na citricultura é o adensamento. Sob maiores densidades, os citros costumam apresentar boa reposta e esse sistema é um dos responsáveis pelo aumento de produtividade observado nos últimos oito anos no Estado de São Paulo (média de 400 para 600 caixas de 40,8 kg/ha). Futuramente, esperam-se maiores ganhos com a redução dos espaçamento (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012).

O espaçamento recomendado para citros até o início da década de 1990 ficava em torno de 7 a 9 m na entrelinha e 4 a 6 m na linha de plantio (185 a 208 plantas/hectare), entretanto, laranjeiras doces (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) apresentaram boas produções de frutos em espaçamentos de 5 a 7 m na entrelinha e 2 a 4 m na linha de plantio (357 a 1000 plantas por hectare). Foi observado que, em

média, o adensamento de plantio adicionou mais 50% nas safras nos primeiros oito anos de produção em relação aos plantios tradicionais. Nos pomares adensados de citros atualmente implantados no Brasil adotam-se espaçamentos que variam de 4 a 6 m na entrelinha e de 2 a 3 m entre plantas, o que corresponde a 600 a 1.250 árvores/ha (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012).

O adensamento de plantio é uma tecnologia relativamente simples de aumento de produção, que permite maior competitividade pequenos, médios e grandes produtores.

A maior produção nos primeiros anos contribui para antecipação do retorno financeiro em pomares adensados, mesmo utilizando-se combinações de copa e porta enxertos tradicionais. Entretanto, algumas desvantagens são observadas como a necessidade de podas regulares e a obrigatoriedade de uso de porta-enxertos ananizantes para redução do vigor (ASTHA; NARAYAN; NARAYAN; KHAN, 2022) Ao se utilizar esses porta enxertos com características que visam a diminuição de porte, deve-se atender as exigências dessas variedades quanto a clima, solos, nutrição, compatibilidade com a variedade copa e reação a doenças e etc (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012).

Atualmente, os citricultores têm se preocupado em aumentar a produtividade, e otimizar em suas propriedades os diversos tipos de manejo como o controle de pragas e de doenças bem como a redução no custo da colheita, o que pode ser conseguido pelo uso de porta-enxertos ananizantes.

O nanismo é uma alteração no padrão de crescimento normal. Uma planta anã é aquela que é menor do que o tamanho normal na plena maturidade e possui outras características como precocidade, arquitetura da copa e época de floração e tamanho alterado do fruto. Normalmente as árvores frutíferas geralmente são de grande porte, e a produção de árvores pequenas ou até anãs são de grande interesse para a maioria das frutíferas (ASTHA; NARAYAN; NARAYAN; KHAN, 2022).

A enxertia é uma técnica desenvolvida em árvores frutíferas, que combina um enxerto e um porta-enxerto para formar uma nova planta com uma mistura de características selecionadas. Para POMPEU JUNIOR; MATTOS JR.; DE NEGRI e PIO (2005), os porta-enxertos influenciam em muitas características expressas nos tipos de copas como vigor da planta, produção de frutos, precocidade, época de maturação dos frutos, peso de frutos, cor da casca e do suco, teor de açúcares e

acidez dos frutos, conservação dos frutos após a colheita, tolerância da planta a fatores abióticos como a salinidade, seca, e geada e a fatores bióticos como doenças e pragas.

O porta-enxerto 'Trifoliata' *Flying Dragon*' (*Poncirus trifoliata* L.), surgiu no Japão e tem como principal característica a presença de espinhos curvados e ramos sinuosos. Apresenta frutos pequenos, coloração amarela, precoce, com mais de 20 sementes. Normalmente, é um porta-enxerto ananicante, em que as copas, neste enxertadas, possuem desenvolvimento lento e porte baixo, exceto as tangerineiras e limeira ácida 'Tahiti', que normalmente atinge porte médio (BASTOS; FERREIRA; PASSOS; DE SÁ *et al.*, 2014), o que permite maior adensamento em plantio. O menor porte de árvores facilita o controle fitossanitário, desbaste de frutos e a poda de limpeza.

As plantas em trifoliata '*Flying Dragon*' atingem no máximo 3 m de altura, e podem ser colhidas manualmente sem o uso de acessórios como escadas, varas ou ganchos. Os maiores custos de implantação são equilibrados pelas maiores produções iniciais pois o importante é o número de plantas por hectare e após os primeiros anos ocorre maior aproveitamento das adubações em função da maior quantidade de raízes nas plantas em pomares adensados, além disso, há a diminuição da competição por plantas daninhas pelo sombreamento entre plantas (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012).

O '*Flying Dragon*' é resistente à gomose (*Phytophthora* spp.) e tolerante à morte súbita dos citros (MSC) mas tem como desvantagem, possuir baixa tolerância à seca (POMPEU JUNIOR; MATTOS JR.; DE NEGRI; PIO, 2005) o que fundamenta outros estudos utilizando porta-enxertos além do limão 'Cravo' e sistemas de plantio que preconizem a capacidade de armazenamento de água no solo, como o plantio direto e uso de cobertura vegetal.

Na laranja Folha Murcha' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) uma cultivar de colheita tardia, indicada tanto para a indústria de processamento de suco quanto para o mercado de frutas frescas ao avaliar alternativas de combinações copa e porta enxerto, CANTUARIAS-AVILÉS; MOURÃO FILHO; STUCHI; DA SILVA *et al.* (2011) observaram que o porta-enxerto trifoliata '*Flying Dragon*' induziu menor porte de árvore, maior eficiência produtiva, menor incidência de CVC, produção precoce e alta qualidade de frutos para laranjeiras 'Folha Murcha' não irrigadas, podendo ser

recomendado como porta-enxerto alternativo, sendo melhor adequado para plantios adensados.

O limoeiro 'Cravo' é o porta-enxerto mais utilizado na citricultura devido à precocidade de produção, alta produtividade e tolerância à seca (POMPEU JUNIOR; MATTOS JR.; DE NEGRI; PIO, 2005). Normalmente as plantas apresentam mecanismos de defesa contra a seca, como redução de área foliar, crescimento de raízes em maior profundidade em direção à umidade do solo e fechamento estomático (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017).

Em um estudo realizado por SILVA; MIRANDA; COSTA; MACHADO *et al.* (2021), observou-se que a resistência a seca em resposta a utilização do porta-enxerto limoeiro 'Cravo' utilizou fotoassimilados como fontes de energia e esqueletos de carbono para crescer em condições de seca, o que possivelmente está relacionado ao aumento da respiração radicular. Para os autores, o fornecimento de carbono pelas folhas e a entrega às raízes são críticos para manter o crescimento das raízes e melhorar a tolerância à seca.

No semiárido, a limeira ácida 'Tahiti' enxertada sobre o porta-enxerto limoeiro Cravo, obteve um maior volume de copa e o '*Flying Dragon*' determinou os menores valores, destacando como uma alternativa para promoção de pomares mais adensados (COSTA; SANTOS; JESUS; SAMPAIO *et al.*, 2019), devido ao seu aspecto ananicante.

Pomares de limeira ácida 'Tahiti' sobre '*Flying Dragon*' são utilizados no Estado de São Paulo, com alto nível de satisfação dos produtores. Por isso, esse porta-enxerto representa 5% de todos os porta-enxertos empregados para Tahiti desde meados da década passada (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012)

Nesse estudo, foram utilizadas três variantes de '*Flying dragon*': 'BRS Donadio', 'BRS Matta' e 'BRS Furr'.

2.7 Condições ambientais

Condições ambientais diferentes daquelas onde as cultivares ou variedades foram desenvolvidas podem ter influência negativa no desenvolvimento e produção de plantas (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). A temperatura do ar exerce influência sobre todas as fases de desenvolvimento das plantas cítricas, até a

maturação dos frutos (REUTHER, 1973). Sabe-se que algumas variáveis meteorológicas podem influenciar em parâmetros da qualidade de frutos de laranjeiras. A temperatura do ar, representada por graus-dia, pode ser considerada nos modelos de previsão do índice tecnológico pois influencia nos indicadores da qualidade do suco (VOLPE; SCHOFFEL; BARBOSA, 2002).

O município de Manaus faz parte do polo produtor de citros no norte do Brasil, tem como característica climática a ocorrência de chuvas concentrada entre os meses de dezembro a início de junho (WEATHER SPARK, 2022), o que resulta em torno de cinco meses sem muita água disponível no solo, fator que pode comprometer o crescimento e a produtividade das plantas agrícolas, pois a água é o elemento mais abundante das células vegetais vivas, participando dentre outras funções, na manutenção da turgescência, nas atividades metabólicas e principalmente na transpiração (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017).

De acordo com TAIZ; ZEIGER; MØLLER e MURPHY (2017), a transpiração é o processo no qual mais de 97% da água que é absorvida pelas raízes é evaporado pelas estruturas foliares. É um processo regido pela diferença de concentração de vapor de água entre os espaços internos da folha e o ar do ambiente externo, e em função da resistência à perda de vapor de água, específico a cada espécie vegetal. Essa perda de água para atmosfera é obrigatório no processo de realização da fotossíntese, pois a absorção de CO₂ está associada a perda de água a partir de uma rota comum: difusão da água para o ambiente é síncrono com a difusão do CO₂ para dentro das células (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Com a redução da assimilação de CO₂, ocorre o aumento da resistência estomática, redução da transpiração e conseqüentemente redução do crescimento da cultura (COELHO FILHO; BASSOI; ANGELOCCI; COELHO *et al.*, 2011).

DONATO; PEREIRA; BARROS; SIQUEIRA *et al.* (2007) buscaram avaliar a influência de diferentes combinações de copa porta enxerto em resposta ao déficit hídrico. Os autores chegaram a conclusão que a tangerineira 'Poncan' é a variedade copa mais sensível ao déficit hídrico, expressado pelo potencial hídrico foliar, quando enxertada sobre o citrumeleiro 'Swingle'. Sob déficit hídrico severo, as variedades copa enxertadas sobre limoeiro 'Cravo' apresentam maior desenvolvimento da copa das plantas cítricas, em comparação ao citrumeleiro 'Swingle'.

SUASSUNA; FERNANDES; NASCIMENTO; OLIVEIRA *et al.* (2012) avaliaram a tolerância de porta enxertos de citros ao estresse hídrico. O déficit hídrico reduziu a fitomassa total e incrementou em alguns porta-enxertos, a relação raiz/parte aérea. A fitomassa foliar foi a variável mais afetada, negativamente, nos porta-enxertos de citros sob deficiência hídrica. O genótipo 'TSKFL x CTTR-017' demonstrou capacidade de adaptação ao déficit hídrico, com potencial promissor para uso em áreas sujeitas às condições de seca.

Considerando que o déficit hídrico tem grande influência na redução da fotossíntese e que esta é responsável pela produção primária de carboidratos, que foram utilizados no crescimento e desenvolvimento das plantas, torna-se importante compreender o comportamento de diferentes porta-enxertos de limeira ácida 'Tahiti', enxertados sob diferentes tipos de porta enxertos, frente às variações climáticas na região próxima a Manaus.

2.7.1 Trocas gasosas foliares, fluorescência da clorofila a pigmentos cloroplastídicos.

As trocas gasosas ocorrem através dos estômatos. Os estômatos controlam as trocas gasosas entre a planta e o meio exterior, abrindo ou fechando uma estrutura chamada ostíolo. Geralmente, os estômatos permanecem abertos durante o dia, quando ocorre para a respiração e a transpiração, e durante a noite se encontram fechados (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Sabe-se que a água é o fator mais limitante para a sobrevivência das plantas. Em relação às relações hídricas e trocas gasosas, sabe-se que o influxo de CO₂ ocorre prioritariamente através dos estômatos durante o processo fotossintético, e simultaneamente ocorre também o efluxo de água, por meio do processo da transpiração. Todos esses processos ocorrem através do movimento estomático, que é considerado o principal mecanismo de controle das trocas gasosas nas plantas superiores. Assim, a disponibilidade de água no solo pode causar fechamento dos estômatos, ocasionando na limitação da condutância estomática e da transpiração. O resultado de todo esse processo, é a redução da fotossíntese (SCHULZE; CALDWELL, 2012).

Quando a disponibilidade de água é reduzida pelo período seco, a absorção será menor do que a transpiração e as plantas utilizam diferentes alternativas para sobreviver (SCHULZE; CALDWELL, 2012).

Um dos mecanismos de resistência utilizados pelas plantas é o fechamento estomático, o que compromete diretamente a taxa de assimilação líquida de CO₂ e, portanto, reduz a fotossíntese líquida (SUASSUNA; FERNANDES; DE BRITO; DO NASCIMENTO *et al.*, 2014). Em citros, foi observada a redução de outros parâmetros como condutância estomática (*g_s*) e transpiração (*E*) em plantas submetidas à deficiência hídrica (SANTOS; ALMEIDA; PIROVANI; COSTA *et al.*, 2019; SUASSUNA; FERNANDES; DE BRITO; DO NASCIMENTO *et al.*, 2014) indicando a influência da disponibilidade hídrica nesses parâmetros fisiológicos.

As plantas cultivadas em campo estão expostas a muitos fatores adversos que interferem no processo fotossintético, levando a declínios no crescimento, desenvolvimento e conseqüentemente na produção. O uso da fluorescência da clorofila *a* é uma ferramenta importante para estudar a eficiência fotoquímica das folhas. Especificamente, a análise dos sinais de fluorescência fornece informações detalhadas sobre o status e a função dos centros de reação do Fotossistema II (PSII), dos complexos de antenas coletoras de luz e dos lados doador e aceitador do PSII (KALAJI; JAJOO; OUKARROUM; BRESTIC *et al.*, 2016).

Outro parâmetro importante na avaliação fotossintética e do estado fisiológico dos vegetais é o teor de pigmentos cloroplastídicos. A clorofila, o pigmento mais importante em plantas superiores e que é responsável pela absorção da luz usada no processo fotossintético e por conseqüência, pela produção de ATP e NADPH (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017)

Devido ao controle da quantidade de radiação solar absorvida pelas plantas, as clorofilas são ótimos indicadores da eficiência fotossintética e conseqüentemente da produtividade primária das plantas (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Também pode ser utilizado para mensurar o crescimento e adaptabilidade aos diferentes ambientes como indicativo de estresse abiótico nas plantas (SHAFQAT; JASKANI; MAQBOOL; KHAN *et al.*, 2019).

Em regiões onde há má distribuição de chuvas, com a ocorrência da seca durante o ano, as plantas enfrentam períodos de flutuação na disponibilidade hídrica no solo, o que ocasiona a alteração de processos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e morfológicos (SANTOS; ALMEIDA; PIROVANI; COSTA *et al.*, 2019). Diante disso, e considerando que as taxas fotossintéticas, fluorescência da clorofila *a*, e teor de

pigmentos cloroplastídicos, podem variar em resposta às mudanças ambientais e em função do genótipo.

2.7.2 Teor de proteínas

A avaliação do teor de proteínas em plantas é importante ao avaliar a interação de espécies cultivadas com o ambiente pois são macromoléculas essenciais para o ciclo de vida das plantas, desempenhando papéis fundamentais na síntese de enzimas, estruturas celulares, e regulação de processos biológicos (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). O teor de proteínas pode ser influenciado por estresses ambientais, como seca, salinidade, altas temperaturas, entre outros. Essas condições adversas podem levar a alterações na expressão gênica e na síntese de proteínas específicas, que desempenham papéis importantes na resposta adaptativa das plantas ao ambiente (ZAHRA; HAFEEZ; GHAFAR; KAUSAR *et al.*, 2023). Além disso, a avaliação do teor de proteínas também é utilizada para monitorar a nutrição das plantas. A deficiência ou o excesso de certos nutrientes pode afetar a síntese de proteínas, influenciando o seu crescimento e o desenvolvimento (MALTA; FURTINI NETO; ALVES; GUIMARÃES, 2002; ZAHRA; HAFEEZ; GHAFAR; KAUSAR *et al.*, 2023; ZHU; NONG; LUO; LI *et al.*, 2021)

2.7.3 Teor de prolina

Vários solutos permitem que a planta tolere o estresse abiótico. A prolina é uma das moléculas compatíveis mais eficazes que produz em organismos, incluindo plantas, sob condições adversas. Uma característica transcricional conhecida como regulação ascendente e descendente da expressão gênica pode ser observada durante o estresse osmótico, e isso ocorre por várias condições de estresse. A regulação ascendente nas plantas resulta no acúmulo de prolina sob estresse osmótico, enquanto a regulação negativa resulta no processo de degradação (SIDDIQUE; KANDPAL; KUMAR, 2018).

O aminoácido prolina é conhecido por apresentar uma importante função de osmoproteção em plantas submetidas a estresses como seca e alta salinidade e está associada ao mecanismo de defesa de plantas (HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD

et al., 2018). Para o autor, o melhor mecanismo de defesa das plantas submetidas ao estresse hídrico. Está associado aos mecanismos de defesa antioxidante.

É considerada um importante regulador osmótico para proteger as plantas contra o estresse (MOLINARI; MARUR; BESPALHOK FILHO; KOBAYASHI *et al.*, 2004). Sabe-se que na redistribuição hidráulica radicular, o ajuste osmótico e o controle estomático das trocas gasosas foliares são importantes mecanismos fisiológicos associados à tolerância à seca induzida pelo porta-enxerto limoeiro Cravo (MIRANDA; DA SILVA; SILVEIRA; PEREIRA *et al.*, 2021).

Quando o estresse é causado pela acidez, o acúmulo de prolina foi significativamente afetado por estresses ácidos em porta-enxertos. (ZHU; NONG; LUO; LI *et al.*, 2021) de acordo com os autores, os porta-enxertos testados apresentam resistência ao estresse ácido por acúmulo de prolina. Além disso, para BALFAGÓN; RAMBLA; GRANELL; ARBONA *et al.* (2022) a prolina é um composto chave na tolerância dos citros quando combinados a seca e o calor.

As combinações de copa-porta enxerto para limeira ácida “Tahiti”, em condições de clima tropical, serão avaliadas se apresentarão diferenças no desenvolvimento, crescimento e no metabolismo em razão de fatores abióticos como água e nutrientes em campo. Assim, as trocas gasosas, bem como as concentrações de carboidratos nas folhas e prolina poderão apresentar diferenças nas combinações.

2.7.4 Teor de compostos fenólicos

As plantas são mediadas por dois tipos de metabolismo, metabolismo primário, responsável por processos bioquímicos essenciais que são fundamentais para a sobrevivência e crescimento das plantas, tais como, produção de biomoléculas básicas que são necessárias para as funções vitais das células vegetais. Processos como fotossíntese, respiração, produção de glicose, ciclo de krebs, síntese de proteínas, síntese de ácidos nucleicos, e fosforilação são enquadrados no metabolismo primário (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Por outro lado, O metabolismo secundário em plantas é responsável pela produção de compostos químicos que não são essenciais para os processos metabólicos básicos da planta, como crescimento, desenvolvimento e reprodução, porém, desempenham funções importantes, como proteção de plantas contra herbivoria, atração de polinizadores, adaptações climáticas, atração de polinizadores, interações ecológicas e resposta a

estresses ambientais. Esses compostos secundários são sintetizados a partir de produtos intermediários do metabolismo primário (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017)

Os metabólitos secundários são classificados em três grupos principais com base em suas vias biossintéticas: (I) compostos contendo nitrogênio, como glicosídeos cianogênicos, alcalóides e glucosinolatos; (II) compostos fenólicos, como flavonóides, e fenilpropanóides; e (III) terpenos como isoprenóides (HASANUZZAMAN, 2020).

Os compostos fenólicos são uma classe de metabólitos secundários amplamente distribuídos em plantas e desempenham várias funções importantes, incluindo proteção contra estresses abióticos (como radiação UV, estresses hídricos, térmicos e oxidativos), defesa contra patógenos, regulação do crescimento e desenvolvimento, e interações planta-ambiente (HASANUZZAMAN, 2020). Essa avaliação é importante pois as plantas ativam diferentes vias de indução de mecanismos de defesa vegetal, aumentando o acúmulo de compostos fenólicos totais juntamente com os níveis de capacidade antioxidante, prolina, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica, proteínas solúveis totais, e atividades antioxidantes enzimáticas, como superoxidase dismutase, catalase, e peroxidase (HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.*, 2018). Dessa forma, é possível entender que ao serem submetidas a condições adversas, as plantas recrutam toda a maquinária antioxidante como forma de se proteger.

3 OBJETIVO

3.1 Objetivo geral

Avaliar o crescimento e o comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto para limeira ácida “Tahiti” na região metropolitana de Manaus.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar o status nutricional das diferentes combinações copa/ porta enxerto para limeira ácida ‘Tahiti” em Iranduba.

Comparar o crescimento inicial por meio do índice de vigor vegetativo, taxa de cobertura da copa na linha e na entrelinha, volume médio da copa, índice de conformação e compatibilidade de copa e porta enxerto.

Caracterizar o comportamento fisiológico das combinações copa/porta enxerto sob condições de campo.

REFERÊNCIAS

ADEPARA. **Agência de Defesa Agropecuária do Pará - Ações da Adepará garantem qualidade do limão Tahiti de Monte Alegre.** 2021. Disponível em: <http://www.adepara.pa.gov.br/artigos/a%C3%A7%C3%B5es-da-adepar%C3%A1-garantem-qualidade-do-lim%C3%A3o-thaiti-de-monte-alegre>.

ARAS, B.; KALFAZADE, N.; TUĞCU, V.; KEMAHLI, E. *et al.* Can lemon juice be an alternative to potassium citrate in the treatment of urinary calcium stones in patients with hypocitraturia? A prospective randomized study. **Urological Research**, 36, n. 6, p. 313, 2008/10/23 2008.

ASLANI, N.; ENTEZARI, M. H.; ASKARI, G.; MAGHSOUDI, Z. *et al.* Effect of Garlic and Lemon Juice Mixture on Lipid Profile and Some Cardiovascular Risk Factors in People 30-60 Years Old with Moderate Hyperlipidaemia: A Randomized Clinical Trial. **International journal of preventive medicine**, 7, p. 95-95, 2016.

ASTHA, V. B.; NARAYAN, S.; NARAYAN, R.; KHAN, F. Dwarfism in fruits crops: A way to produce new canopy architecture. 2022.

AZEVEDO, C. Identificação e monitoramento de pragas e doenças regulamentadas, quarentenárias e seus inimigos naturais na cultura dos citros no Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2015.

BALFAGÓN, D.; RAMBLA, J. L.; GRANELL, A.; ARBONA, V. *et al.* Grafting improves tolerance to combined drought and heat stresses by modifying metabolism in citrus scion. **Environmental and Experimental Botany**, 195, p. 104793, 2022/03/01/ 2022.

BASTOS, D.; FERREIRA, E.; PASSOS, O.; DE SÁ, J. *et al.* Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira. **Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

BHAGOOI, R.; MATTAN-MOORGAWA, S.; KAULLYSING, D.; LOUIS, Y. D. *et al.* Chlorophyll fluorescence – A tool to assess photosynthetic performance and stress photophysiology in symbiotic marine invertebrates and seaplants. **Marine Pollution Bulletin**, 165, p. 112059, 2021/04/01/ 2021.

CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F. d. A. A.; STUCHI, E. S.; DA SILVA, S. R. *et al.* Horticultural performance of 'Folha Murcha' sweet orange onto twelve rootstocks. **Scientia Horticulturae**, 129, n. 2, p. 259-265, 2011/06/10/ 2011.

CEAGESP. Nomas de Classificação de Citros de Mesa- Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura. **Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**, 2011.

CEAGESP. Limão taiti é o produto destaque da semana **Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**, 2021.

CEAGESP. O Limão Tahiti. **Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**, 2022a.

CEAGESP. Principais variedades de lima ácida e limão comercializadas na CEAGESP. **Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo**, 2022b.

COELHO FILHO, M.; BASSOI, L.; ANGELOCCI, L.; COELHO, E. *et al.* Relação solo-planta-atmosfera. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2011.

CONAB. Tabela de preço de referência do PAA-SUREG/AM. **Companhia Nacional de Abastecimento**, 2019.

COSTA, J.; SANTOS, G. d.; JESUS, J.; SAMPAIO, A. *et al.*, 2019, **Crescimento de lima ácida´ tahiti´ em diferentes porta enxertos e Manejo de irrigação em clima semiárido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., 2019, Juazeiro, BA/Petrolina

CURK, F.; OLLITRAULT, F.; GARCIA-LOR, A.; LURO, F. *et al.* Phylogenetic origin of limes and lemons revealed by cytoplasmic and nuclear markers. **Annals of Botany**, 117, n. 4, p. 565-583, 2016.

DONATO, S. L. R.; PEREIRA, C. S.; BARROS, Z. d. J.; SIQUEIRA, D. L. d. *et al.* Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxerto de citros à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42, p. 1507-1510, 2007.

FIGUEIREDO, J. O. D.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; TEÓFILO SOBRINHO, J. *et al.* Porta-enxertos para a lima-ácida-'Tahiti'na região de Bebedouro, SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24, n. 1, p. 155-159, 2002.

GENTILE, A.; LA MALFA, S.; DENG, Z. **The Citrus Genome**. Springer, 2020. 3030153088.

HASANUZZAMAN, M. **Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses**. Springer Nature, 2020. 9811521565.

HASSANZADEH KHANKAHDANI, H.; RASTEGAR, S.; GOLEIN, B.; GOLMOHAMMADI, M. *et al.* Effect of rootstock on vegetative growth and mineral elements in scion of different Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka) genotypes. **Scientia Horticulturae**, 246, p. 136-145, 2019/02/27/ 2019.

HUSSAIN, S.; KHALID, M. F.; SAQIB, M.; AHMAD, S. *et al.* Drought tolerance in citrus rootstocks is associated with better antioxidant defense mechanism. **Acta Physiologiae Plantarum**, 40, n. 8, p. 1-10, 2018.

IBGE. Censo Agropecuário 2017. 2017.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M. *et al.* Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta physiologiae plantarum**, 38, p. 1-11, 2016.

KHAN, Y.; KHAN, R. A.; AFROZ, S.; SIDDIQ, A. Evaluation of hypolipidemic effect of citrus lemon. **Journal of Basic and Applied Sciences**, 6, n. 1, p. 39-43, 2010.

LARANJEIRA, F.; FEICHTENBERGER, E.; BASSANEZI, R.; SPÓSITO, M. Manejo integrado de doenças dos citros. **Citros**, p. 631-654, 2005.

LARANJEIRA, F. F.; AMORIM, L.; BERGAMIN FILHO, A.; AGUILAR-VILDOSO, C. I. *et al.* Fungos, procariotos e doenças abióticas. **Citros**, p. 532-538, 2005.

MACHADO, F. L. C.; OLIVEIRA, V. S. d.; COSTA, J. M. C. d. Postharvest quality of grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.) produced from initial plantings in Ceará state, Brazil. **Revista Ciencia Agronomica**, 42, n. 4, p. 965, 2011.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. d. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 1997.

MALTA, M. R.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, J. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Efeito da aplicação de zinco via foliar na síntese de triptofano, aminoácidos e proteínas solúveis em mudas de cafeeiro. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 14, p. 31-37, 2002.

MATTOS JR, D.; NEGRI, J. d.; FIGUEIREDO, J. d. **Lima ácida Tahiti**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003 2003. (Lima ácida Tahiti.

MELNYK, C. W.; MEYEROWITZ, E. M. Plant grafting. **Current Biology**, 25, n. 5, p. R183-R188, 2015/03/02/ 2015.

MIRANDA, M. T.; DA SILVA, S. F.; SILVEIRA, N. M.; PEREIRA, L. *et al.* Root osmotic adjustment and stomatal control of leaf gas exchange are dependent on citrus

rootstocks under water deficit. **Journal of Plant Growth Regulation**, 40, n. 1, p. 11-19, 2021.

MIRANDA, M. T.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; SILVA, S. F.; PEREIRA, L. *et al.* Water stress signaling and hydraulic traits in three congeneric citrus species under water deficit. **Plant Science**, 319, p. 111255, 2022/06/01/ 2022.

MOLINARI, H. B. C.; MARUR, C. J.; BESPALHOK FILHO, J. C.; KOBAYASHI, A. K. *et al.* Osmotic adjustment in transgenic citrus rootstock Carrizo citrange (*Citrus sinensis* Osb. x *Poncirus trifoliata* L. Raf.) overproducing proline. **Plant Science**, 167, n. 6, p. 1375-1381, 2004.

PASSOS, O.; BARBOSA, C. d. J.; CUNHA SOBRINHO, A.; ABREU, E. Limeira Ácida Tahiti CNPMF 5059. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2012.

PASSOS, O.; SOARES FILHO, W. d. S.; BARBOSA, C. d. J. A limeira ácida 'Tahiti CNPMF 2001' possui elevada produtividade. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2009.

PASSOS, O. S.; SOARES FILHO, W. d. S.; JUNQUEIRA, N. T. V.; FALEIRO, F. G. *et al.* A limeira ácida 'BRS Passos'. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)**, 2012.

PHAM, T.; NGUYEN, N. T. P.; DINH, D. V.; KIEU, N. T. *et al.* Evaluate the Chemical Composition of Peels and Juice of Seedless Lemon (*Citrus latifolia*) Grown in Hau Giang Province, Vietnam. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 991, n. 1, p. 012127, 2020/12/01 2020.

POMPEU JUNIOR, J.; MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J. D.; PIO, R. M. **Porta-exertos**. Codeirópolis, SP: Centro APTA Citros Sylvio Moreira, 2005. (Citros.

RAZA, A.; ASHRAF, F.; ZOU, X.; ZHANG, X. *et al.* Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. **Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses**, p. 117-145, 2020.

REUTHER, W. Climate and citrus behavior. **The citrus industry**, 3, p. 280-337, 1973.

ROSSI, P. L.; PANDOLFI, M. A. C. Análise de Mercado da Lima Ácida Tahiti. **Revista Interface Tecnológica**, 16, n. 2, p. 255-263, 2019.

RUGGENENTI, P.; CARUSO, M. R.; CORTINOVIS, M.; PERNA, A. *et al.* Fresh lemon juice supplementation for the prevention of recurrent stones in calcium oxalate nephrolithiasis: A pragmatic, prospective, randomised, open, blinded endpoint (PROBE) trial. **eClinicalMedicine**, 43, p. 101227, 2022/01/01/ 2022.

SANTOS, I. C. d.; ALMEIDA, A.-A. F. d.; PIROVANI, C. P.; COSTA, M. G. C. *et al.* Physiological, biochemical and molecular responses to drought conditions in field-grown grafted and ungrafted citrus plants. **Environmental and Experimental Botany**, 162, p. 406-420, 2019/06/01/ 2019.

SCHULZE, E.-D.; CALDWELL, M. M. **Ecophysiology of photosynthesis**. Springer Science & Business Media, 2012. 3642793541.

SHAFQAT, W.; JASKANI, M. J.; MAQBOOL, R.; KHAN, A. S. *et al.* Evaluation of citrus rootstocks against drought, heat and their combined stress based on growth and photosynthetic pigments. **Int J Agri Biol**, 22, n. 5, p. 1001-1009, 2019.

SHIMAZAKI, K.-i.; DOI, M.; ASSMANN, S. M.; KINOSHITA, T. Light regulation of stomatal movement. **Annu. Rev. Plant Biol.**, 58, p. 219-247, 2007.

SIDDIQUE, A.; KANDPAL, G.; KUMAR, P. Proline accumulation and its defensive role under diverse stress condition in plants: An Overview. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, 12, n. 3, p. 1655-1659, 2018.

SILVA, S.; BERNI, R.; SOUZA, A.; DE SOUZA, M. *et al.* Recomendações para a produção de citros no Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004.

SILVA, S. d.; SOUZA, A.; BERNI, R.; SOUZA, M. d. *et al.* Lima ácida" Tahiti": uma opção para a citricultura do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

SILVA, S. E. L.; SOUZA, A.; CUNHA SOBRINHO, A. P., 2002, **Comportamento inicial de dez porta-enxertos para a lima ácida tahiti nas regiões próximas a Manaus, Amazonas**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. Os novos

SILVA, S. F.; MIRANDA, M. T.; COSTA, V. E.; MACHADO, E. C. *et al.* Sink strength of citrus rootstocks under water deficit. **Tree Physiology**, 41, n. 8, p. 1372-1383, 2021.

STUCHI, E. S.; GIRARDI, E. A.; SEMPIONATO, O. R.; REIFF, E. T. *et al.* 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. *et al.* Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga**, 19, n. 3, p. 464-477, 2014.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R. d.; OLIVEIRA, A. *et al.* Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16, p. 1305-1313, 2012.

SWINGLE, W.; REECE, P. The botany of Citrus and its wild relatives. **The citrus industry**, 1, p. 190–430, 1967.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 8582713673.

TALON, M.; WU, G. A.; GMITTER, F. G.; ROKHSAR, D. S. Chapter 2 - The origin of *Citrus*. In: TALON, M.; CARUSO, M., *et al* (Ed.). **The Genus *Citrus***: Woodhead Publishing, 2020. p. 9-31.

TANAKA, T. Species problem in *Citrus*. **Sociedade Japonesa para Promoção da Ciência.**, 1954.

USDA. **United States Department of Agriculture**. USA, 2022. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html>.

VOLPE, C. A.; SCHOFFEL, E. R.; BARBOSA, J. C. Influência da soma térmica e da chuva durante o desenvolvimento de laranjas-'valência'e'natal'na relação entre sólidos solúveis e acidez e no índice tecnológico do suco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24, p. 436-441, 2002.

WEATHER SPARK. **O clima de qualquer lugar da Terra durante o ano inteiro**. 2022. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/>.

ZAHRA, N.; HAFEEZ, M. B.; GHAFAR, A.; KAUSAR, A. *et al*. Plant photosynthesis under heat stress: Effects and management. **Environmental and Experimental Botany**, 206, p. 105178, 2023/02/01/ 2023.

ZHU, S.; NONG, J.; LUO, G.; LI, Q. *et al*. Varied tolerance and different responses of five citrus rootstocks to acid stress by principle component analysis and orthogonal analysis. **Scientia Horticulturae**, 278, p. 109853, 2021/02/27/ 2021.

4 ARTIGO I- CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS E ACÚMULO DE NUTRIENTES DE LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' SOBRE PORTA ENXERTO 'FLYING DRAGON'

RESUMO

A identificação de genótipos de copas e porta-enxertos adaptados à região citrícola é de grande importância para a citricultura do Amazonas, que está em desenvolvimento. Este trabalho teve como objetivo avaliar as características de crescimento em nove combinações de copas e porta-enxertos anões da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) Mandioca e Fruticultura para a região: 'BRS Passos' x 'BRS Donadio', 'BRS Passos' x 'BRS J Furr', 'BRS Passos' x 'BRS Matta', 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio', 'CNPMF 01' x 'BRS J Furr', 'CNPMF 01' x 'BRS Matta', 'CNPMF 5059' x 'BRS Donadio', 'CNPMF 5059' x 'BRS J Furr', 'CNPMF 5059' x 'BRS Matta'. O experimento foi realizado em uma área localizada no município de Iranduba, Amazonas. Os teores de nutrientes foliares foram quantificados e a partir de medidas individuais de altura de planta, diâmetro médio da copa, diâmetro do tronco do porta-enxerto, diâmetro da copa no sentido da linha de plantio e entre linhas foi calculado o vigor vegetativo, taxa de cobertura das copas na linha e na entrelinha, volume médio das copas, índice de conformação e compatibilidade entre copa e porta-enxerto. A combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' apresentou melhor desempenho em relação aos parâmetros de crescimento e teores de nutrientes avaliados, enquanto a combinação 'CNPMF 01' x 'BRS Matta' apresentou os menores valores para índices de crescimento e 'BRS Passos' x 'BRS Matta' menor teor de nutrientes. Embora não houvesse sintomas aparentes de deficiência nutricional, os níveis de alguns nutrientes eram abaixo do nível crítico, mas o crescimento das combinações copa e porta-enxerto nas condições locais foi satisfatório e se destacou como alternativa de uso para pomares mais adensados na região do polo citricultor do Amazonas.

Palavras-chave: parâmetros de crescimento, enxertia, *Citrus latifolia*.

ARTICLE I- BIOMETRIC CHARACTERISTICS AND ACCUMULATION OF NUTRIENTS OF 'TAHITI' ACID LIMEN ON 'FLYING DRAGON' GRAFTS

ABSTRACT

The identification of scion and rootstock genotypes adapted to the citrus growing region is of great importance for citrus farming in Amazonas, which is under development. This work aimed to evaluate the growth characteristics in nine combinations of scion and dwarf rootstocks from the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) Cassava and Fruit Culture for the region: 'BRS Passos' x 'BRS Donadio', 'BRS Passos' x 'BRS J Furr', 'BRS Passos' x 'BRS Matta', 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio', 'CNPMF 01' x 'BRS J Furr', 'CNPMF 01' x 'BRS Matta', 'CNPMF 5059' x 'BRS Donadio', 'CNPMF 5059' x 'BRS J Furr', 'CNPMF 5059' x 'BRS Matta'. The experiment was carried out in an area located in the municipality of Iranduba, Amazonas. Leaf nutrient contents were quantified and from individual measurements of plant height, average crown diameter, rootstock trunk diameter, crown diameter towards the planting line and between lines, vegetative vigor, rate scion coverage in the row and between the row, average scion volume, conformation index and compatibility between scion and rootstock. The combination 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' presented better performance in relation to the growth parameters and nutrient contents evaluated, while the combination 'CNPMF 01' x 'BRS Matta' presented the lowest values for growth indices and 'BRS Passos' x 'BRS Matta' lower nutrient content. Although there were no apparent symptoms of nutritional deficiency, the levels of some nutrients were below the critical level, but the growth of the scion and rootstock combinations under local conditions was satisfactory and stood out as an alternative use for denser orchards in the hub region. citrus grower in Amazonas.

Keywords: growth parameters, grafting, *Citrus latifolia*.

4.1 INTRODUÇÃO

O cultivo do limão Tahiti é significativo no Brasil especialmente em regiões com clima tropical e subtropical. O país é um dos principais produtores mundiais desse tipo de limão. Em 2022, o Brasil foi responsável por produzir cerca de 1.632.109 toneladas deste fruto. Os maiores produtores foram o estado de São Paulo, Minas Gerais e Pará (IBGE, 2022). O Amazonas importa grande parte do que é produzido do estado do Pará e tem alto consumo do fruto principalmente na região metropolitana de Manaus.

Nas regiões onde a produção é expressiva, o cultivo do limão `Tahiti` contribui substancialmente para a economia local e nacional, que pode ser impulsionada pela demanda tanto no mercado interno quanto no externo, devido esta fruta ser bastante usada na culinária, na indústria de bebidas e possui alta demanda tanto no Brasil, quanto no exterior.

Entretanto, como em qualquer cultivo agrícola, os produtores enfrentam desafios, como variações climáticas, custos de produção, questões relacionadas a pragas e doenças, além da logística de distribuição.

A diversificação de porta-enxertos na citricultura tem ocorrido de forma frequente e necessária. Na diversificação encontra-se materiais que adaptam-se com plantio adensado e isto tem sido viabilizado com o uso de variedades, que promovam menor vigor à copa, permitindo assim plantio com mais plantas por hectare (AZEVEDO; PACHECO; SCHINOR; CARVALHO *et al.*, 2015). O porta-enxerto *Flying Dragon* tem sido utilizado por sua capacidade ananicante e que mantém a boa produtividade da copa. Dentre as vantagens do uso deste material é possível obter bons resultados em sistemas de plantios adensado, uso de máquinas agrícolas para manejo, colheita mecanizada e facilidade devido a diminuição do porte, e vantagens econômicas. Porém, esse porta-enxerto apresenta baixa tolerância ao déficit hídrico, o que justifica estudos *in locus* para avaliar o seu potencial de acordo com a região (MADEMBA-SY; LEMERRE-DESPREZ; LEBEGIN, 2012). Desse modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento inicial de combinações de copa e porta-enxertos para limeira ácida `Tahiti` na região de Iranduba.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material genético e condições experimentais

Este experimento foi conduzido na Fazenda Santa Rosa localizada em Iranduba AM-070, no Km 5.

As sementes dos porta-enxertos e as borbulhas utilizadas para as copas foram provenientes do banco de germoplasma da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, Ba. Três diferentes copas de limão Tahiti ('BRS Passos', 'CNPMPF 5058' e 'CNPMPF 01') e três diferentes portas-enxertos, variações de *Flying dragon* ('BRS Donadio', 'BRS Matta' e 'BRS J Furr) foram utilizados, o que gerou no total nove combinações. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x3 totalizando 9 tratamentos de combinações de copa e porta-enxertos, com quatro repetições cada. A parcela experimental foi constituída de seis plantas em linha totalizando 216 plantas.

Os porta-enxertos foram semeados no dia 13 de julho de 2019 e as mudas produzidas pelo viveirista certificado da Fazenda Progresso localizada na AM 010 - Km 113 - Ramal do Procópio, Km 7,5, Rio Preto da Eva, no Estado do Amazonas. A enxertia ocorreu no dia 15 de janeiro de 2020 e o plantio das plantas enxertadas em junho do mesmo ano.

O experimento foi instalado em área experimental na Fazenda Santa Rosa, localizada em Iranduba no Km 5, da AM 070. O clima da região é do tipo "AM" na classificação de Koppen (Koppen 2021).

Os dados do clima no local do experimento foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, que fornece relatórios detalhados do clima com base em várias estações meteorológicas espalhadas pelo Brasil. A estação meteorológica adequada para a região mais próxima do experimento é a localizada em Manaus, Amazonas. A temperatura média mínima durante o período do experimento foi de 24,9 °C, enquanto a temperatura máxima média foi de 32,6 °C. A precipitação média mensal durante este período foi de 213,54 mm (INMET, 2022).

Na figura 3 estão registradas as variações de temperatura durante o período, que as combinações de copa e porta-enxerto foram avaliadas.

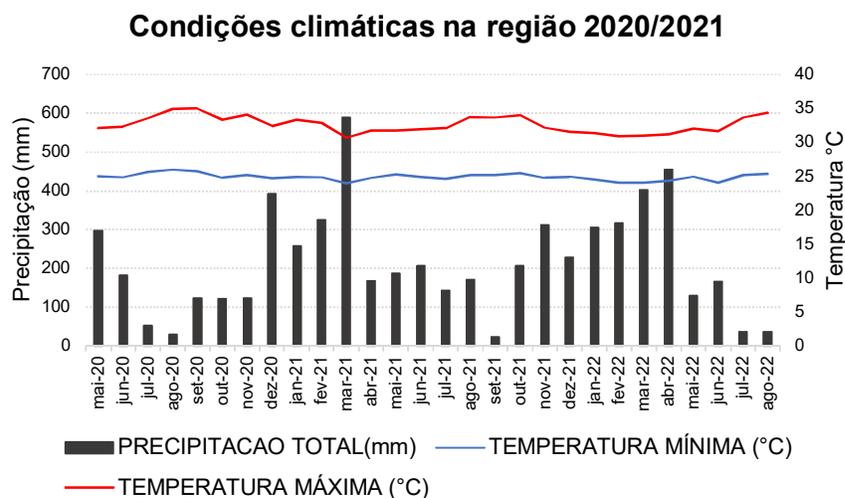


Figura 3. Variação mensal de precipitação, temperatura mínima e temperatura máxima durante o período do experimento. Iranduba, Amazonas.

A temperatura ideal para o pleno desenvolvimento dos citros pode variar de acordo com a variedade e o estágio de desenvolvimento da planta, e está em torno de 25 °C a 30 °C (MACHADO et al., 2005). É possível observar na figura 3 que durante o período de avaliação as temperaturas máximas mensais atingem temperaturas maiores que 30° na região.

4.2.2 Implantação do experimento

Preparo e correção do solo

Em fevereiro de 2020 a análise de solo foi realizada antes do plantio do experimento. Na camada de 0 a 20 cm da superfície do solo foram tiradas 10 amostras em *zig-zag* para compor uma amostra de 1500 g. Esta amostra foi seca ao ar e depois passada em peneira de 2 mm e enviada ao laboratório para análise.

O solo do local de plantio das mudas foi preparado por meio de operações mecanizadas, que consistiram numa gradagem, seguida por uma aração com revolvimento de até 20 cm de profundidade e uma gradagem niveladora.

Após o resultado das análises do solo (Tabela 1) o calcário foi espalhado, na área preparada, em março de 2020 com 1,9 t ha⁻¹ PRNT 90% pelo Método de Saturação de Bases (GUIMARÃES; RIBEIRO e ALVAREZ (1999).

Tabela 1. Resultado da análise de solo da área de experimento com limão. Iranduba, Amazonas, 2021.

	pH	C	M.O.	N	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	Fe	Zn	Mn	Cu	
	H ₂ O	-----g/kg-----			---mg/dm ³ ---			-----cmolc/dm ³ -----							-----%-----		-----mg/dm ³ -----				
0-																					
20	5	18	30	1	28	44	5	2	0	0,1	3,28	2,1	2	5	38,90	2,8	258	10	3	1	

pH em água - relação 1:2,5, P, Na, K, Fe, Zn, Mn, Cu - Extrator Mehlich-1, Ca, Mg - Extrator KCl 1 mol/L, H+Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0, SB - Soma de Bases Trocáveis, CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva, CTC(T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0, V - Índice de Saturação por Bases, m - Índice de Saturação por Alumínio, Matéria Orgânica (M.O) = C (carbono orgânico) x 1,724 - Walkley-Black.

Plantio Em junho de 2020 realizou-se o plantio das mudas de limeira ácida 'Tahiti', enxertadas em trifoliata '*Flying Dragon*' em covas de 40 x 40 x 40 cm com espaçamento de 3 m entre plantas por 6 m entre fileira, totalizando 555 plantas ha⁻¹.

Na linha de plantio aplicou-se a lanço 500 g.m⁻¹ de Superfosfato Simples (00-18-00), conforme GUIMARÃES; RIBEIRO e ALVAREZ (1999). A adubação de plantio foi realizada de acordo com a análise de solo e com as seguintes quantidades por cova: 140 g de superfosfato simples, 45 g de cloreto de potássio, e 50 g de uréia parcelado em três vezes com as seguintes quantidades por hectare: 78 kg, 25 kg e 28 kg, respectivamente. Em seguida as plantas foram irrigadas com visando adequado estabelecimento inicial das mudas no campo. O sistema de irrigação por gotejamento foi instalado na área por 2 meses para garantir o pegamento das mudas.. Na instalação das linhas laterais de irrigação foi utilizado o Tubo Gotejador NaanTIF® (NaanDanJain) feito de polietileno com diâmetro de 16 mm, vazão de 2.4 Lh⁻¹, pressão de serviço de 1 bar e espaçamento entre os gotejadores de 0,5 m. Após esse período, o aporte de água se deu exclusivamente pela precipitação pluvial

Adubação de cobertura

A adubação de cobertura foi realizada em cada planta com 220 g de uréia e 80 g de cloreto de potássio parcelado em três vezesna proporção de 123 kg e 45 kg por hectare, respectivamente. Durante o segundo ano foi realizada adubação de cobertura com 280 g de uréia, 280 g de superfosfato simples e 170 g de cloreto de potássio parcelado em três vezes, totalizando 156 kg, 156 kg e 94,35 kg por hectare,

respectivamente. O parcelamento da adubação foi realizado com intervalo de 30 dias entre aplicações e .

Tratos culturais

Os tratos culturais foram realizados conforme MATTOS JR; NEGRI e FIGUEIREDO (2003)..

Controle de plantas daninhas

Após a etapa do plantio foi realizado o coroamento das mudas com 0,5 m de raio ao redor das plantas, aproximadamente. O manejo das plantas daninhas sob as plantas foi com capina manual durante o período seco. No meio da rua de plantio, o manejo de plantas daninhas foi com com roçadeira em uma distância de 1 m da cultura e o material cortado foi deixado na superfície do solo próximo a planta de citros. A partir de novembro de 2020, para evitar a competição com as plantas de limoeiro fez-se o manejo das plantas daninhas com o emprego de glifosato na dose de 1,6 L.ha⁻¹. Em fevereiro e novembro de 2021, foram realizadas outras aplicações deste herbicida. As aplicações do herbicida foram sempre no período da manhã com a velocidade do vento entorno de 2 km.h⁻¹, temperatura variando de 26 a 28° e umidade relativa do ar de 70%.

Desbrota de ramos ladrões e poda

Os ramos ladrões foram retirados com tesoura de poda de dois em dois meses. Dois meses após o plantio foram selecionados três a quatro brotos para formarem os galhos principais de cada planta, retirando-se as demais brotações laterais. Essa poda foi para permitir a formação de uma adequada arquitetura da copa, favorecendo o a penetração de luz solar no interior da planta para assegurar a sustentação de frutos pela planta na época da produção.

Controle de insetos

Em novembro de 2020 foi constatado a presença de pulgão preto (*Toxoptera citricidus*) e a minadora dos citros (*Phyllocnistis citrella*), que foram controlados com aplicação de imidacloprido 200 g.L⁻¹, na dose de 20 ml/100 L de água conforme recomendação do fabricante. Durante a aplicação, as condições ambientais eram: velocidade do vento de 2 km/h, temperatura em 27° e umidade relativa do ar em 70%.

4.2.3 Análise de crescimento e sobrevivência

As avaliações biométricas foram realizadas aos 24 meses após o plantio e consistiram em: altura das plantas, diâmetro da copa na linha e entrelinha de plantio e os diâmetros do tronco do porta-enxerto e do tronco da copa a 5 cm abaixo e acima do ponto de enxertia. A partir dos dados obtidos, foram calculados o índice de vigor vegetativo (IVV), a partir de medições individuais de altura da planta (H), do diâmetro médio da copa (DC) e do diâmetro do tronco do porta-enxerto (DPE) (BORDIGNON; MEDINA FILHO; SIQUEIRA; PIO, 2003). O índice de vigor vegetativo (IVV) foi calculado por meio da fórmula $IVV = [H + DC + (DPE \times 10)]/100$. A taxa de cobertura da copa na linha (TCCL) foi calculada a partir do diâmetro da copa na direção da linha (DL) e pelo espaçamento (E) utilizado na linha, por meio da fórmula: $TCCL = (DL/E) \times 100$ e expressa em porcentagem. A taxa de cobertura da copa na entrelinha (TCCE) foi calculada a partir do diâmetro da copa na direção da entrelinha (DE) e pelo espaçamento (E) utilizado na entrelinha, utilizando-se a fórmula: $TCCE = (DE/E) \times 100$, expressa em porcentagem. O volume médio da copa (VC) foi calculado a partir da altura da planta (H), do diâmetro da copa na direção da linha (DL) e do diâmetro da copa na direção da entrelinha (DE), utilizando-se a seguinte fórmula: $VC = (\pi/6) \times H \times DL \times DE$ (ZEKRI; OBREZA; KOO; ALFEREZ, 2003), expresso em m^3 . O índice de conformação foi determinado com base na fórmula $IC = \text{altura da planta}/\text{diâmetro da copa}$ e o volume da copa (V) foi determinado com base na fórmula: $V = 2/3\pi r^2 h$, onde r = raio médio da copa e h = altura da planta (FIGUEIREDO; STUCHI; DONADIO; TEÓFILO SOBRINHO *et al.*, 2002). A Compatibilidade (C), foi calculada através da razão entre os diâmetros de caule de porta-enxerto e enxerto, sendo a compatibilidade plena considerada equivalente a 1.

As plantas não apresentaram sintomas de doenças durante o experimento, por isso não foram avaliados se as combinações são tolerantes as doenças que ocorrem na região.

A taxa de mortalidade não foi considerada para os resultados deste trabalho, pois somente duas plantas morreram durante todo o a avaliação do experimento.

4.2.4 Estimativa de plantas por hectare

Utilizando os dados obtidos durante este trabalho foi possível calcular a estimativa da população de plantas por hectare para cada combinação, baseado na metodologia proposta por BLUMER (2005). O cálculo para o valor foi obtido para cada combinação de copa/porta-enxerto, usando-se a fórmula $A = 0,85 DL \times (DE + 2)$, onde A é a área teórica, DL é o diâmetro na linha de plantio e DE é o diâmetro entre linha. Para esta fórmula admite-se que haja uma sobreposição de 15% dos ramos na linha e que haja uma distância de 2 metros para a realização dos tratos culturais.

4.2.5 Teor de nutrientes foliares

A coleta das folhas foi realizada no período da manhã e a amostragem foliar deu-se de acordo com a metodologia de MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA (1997) modificada, que consiste em coletar na altura aproximada de 1,5 m do solo, no quadrante da copa, nos ramos frutíferos formados nos brotações. Foram coletadas folhas completas e sadias que posteriormente foram lavadas com água limpa, acondicionadas em sacos novos de papel pardo devidamente identificados. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Análise de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa, onde foram lavadas, secas, moídas e submetidas às análises dos teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn), empregando-se os métodos sugeridos por MALAVOLTA; VITTI e OLIVEIRA (1997) dentro dos padrões de qualidade.

4.2.6 Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com 4 repetições. Os resultados obtidos foram analisados, quanto a presença de valores discrepantes (*outliers*) (BARNETT; LEWIS), e previamente submetidos aos testes SHAPIRO e WILK (1965) e LEVENE (1960) para verificar o pressuposto de normalidade e homogeneidade de variância dos dados. Para os dados que atenderam

o princípio da normalidade, a disparidade das variáveis entre as diferentes combinações foi testada pela análise de variância (ANOVA one-way) e teste Tukey ($p \leq 0,05$) para comparação das médias dos tratamentos. Nas análises de dados que não atenderam os princípios da normalidade e homogeneidade foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$). As figuras foram apresentadas na forma *de box plot* onde as caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90%, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Análise de crescimento

Neste estudo foi avaliada variáveis de crescimento da parte aérea das combinações de copa-porta-enxerto em campo. Os resultados obtidos referentes a variáveis altura (H), índice de conformação da copa (IC), volume da copa (VC), e compatibilidade de copa e porta-enxerto (C) de combinações copa/porta enxerto são apresentados na figura *box plot* (Figura 4). Para altura (H) nota-se que a mediana da combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' foi de 3,32 m, um valor maior quando comparado com a combinação 'CNPMF 01' x 'BRS Matta', com 3,26 m e 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio' com 3,30 m. Além disso, a dispersão dos dados foi menor na combinação que obteve melhor desempenho (Figura 4). Para a variável índice de conformação da copa (IC), não houve diferenças significativas. Assim como na altura, o valor de volume da copa (VC) também foi maior na combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio', que atingiu mediana de 19,05 m³. Na combinação 'CNPMF 01' x 'BRS Matta' o volume da copa foi de 18,18 m³. Para a variável compatibilidade de copa e porta-enxerto não houve diferenças significativas e os todos os valores foram maiores que 0,9.

Na figura 5 (a) observa-se a disposição das medianas do índice de vigor vegetativo (IVV) de todas as combinações, que variaram de 94,06% a 102,08% nas combinações 'CNPMF 01' x 'BRS J Furr' e 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' respectivamente. Em relação as taxas de cobertura da copa na linha (TCCL- entre plantas) houve diferenças significativas (Figura 5 b), mas não houve diferenças significativas nas taxas de cobertura na entrelinha (TCCE- tamanho da rua) Figura 5c.

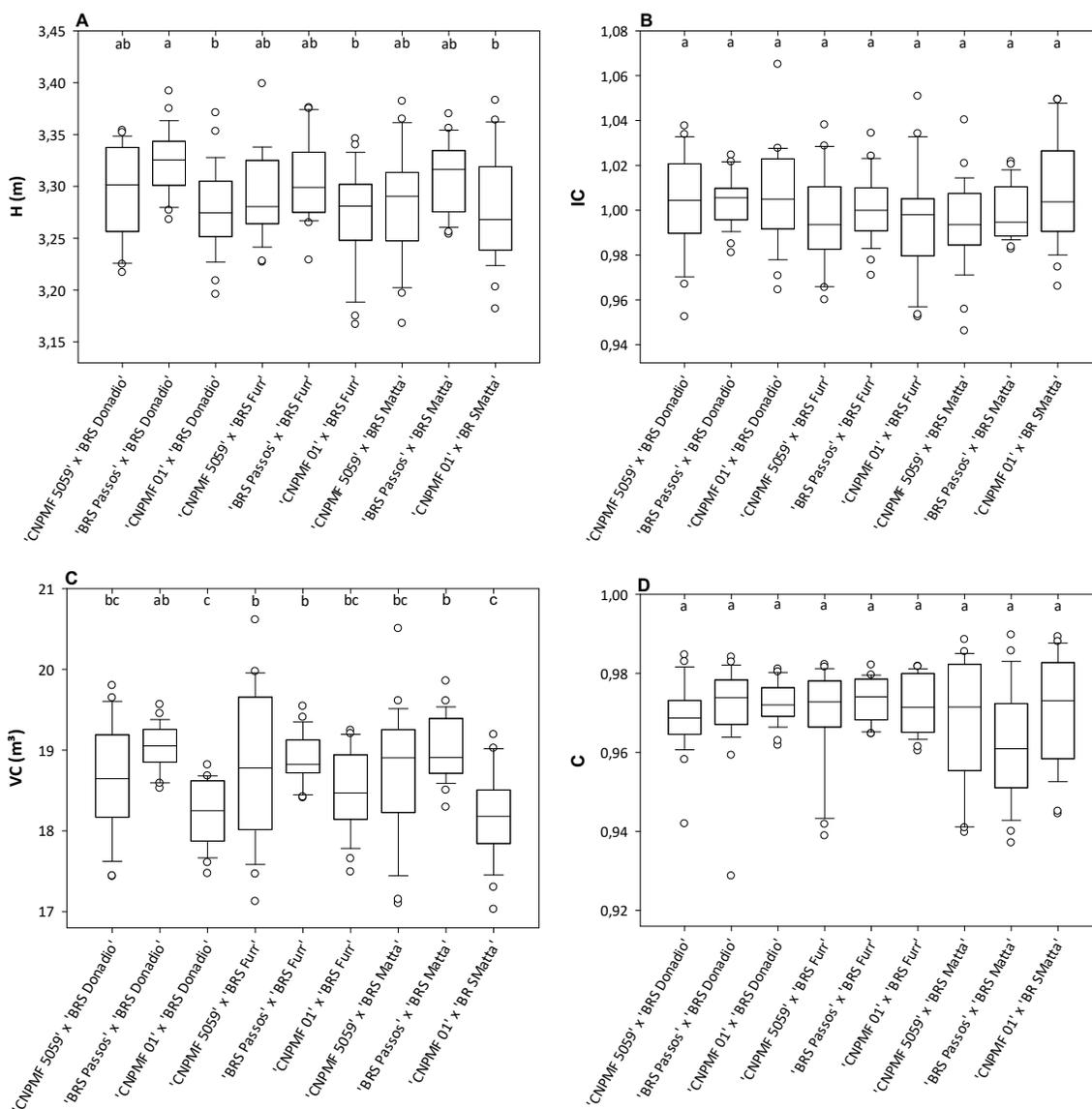


Figura 4. Box plot da (A) Altura (H); (B) Índice de conformação da copa (IC); (C) Volume da copa (VC); e (D) Compatibilidade de copa e porta-enxerto (C) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

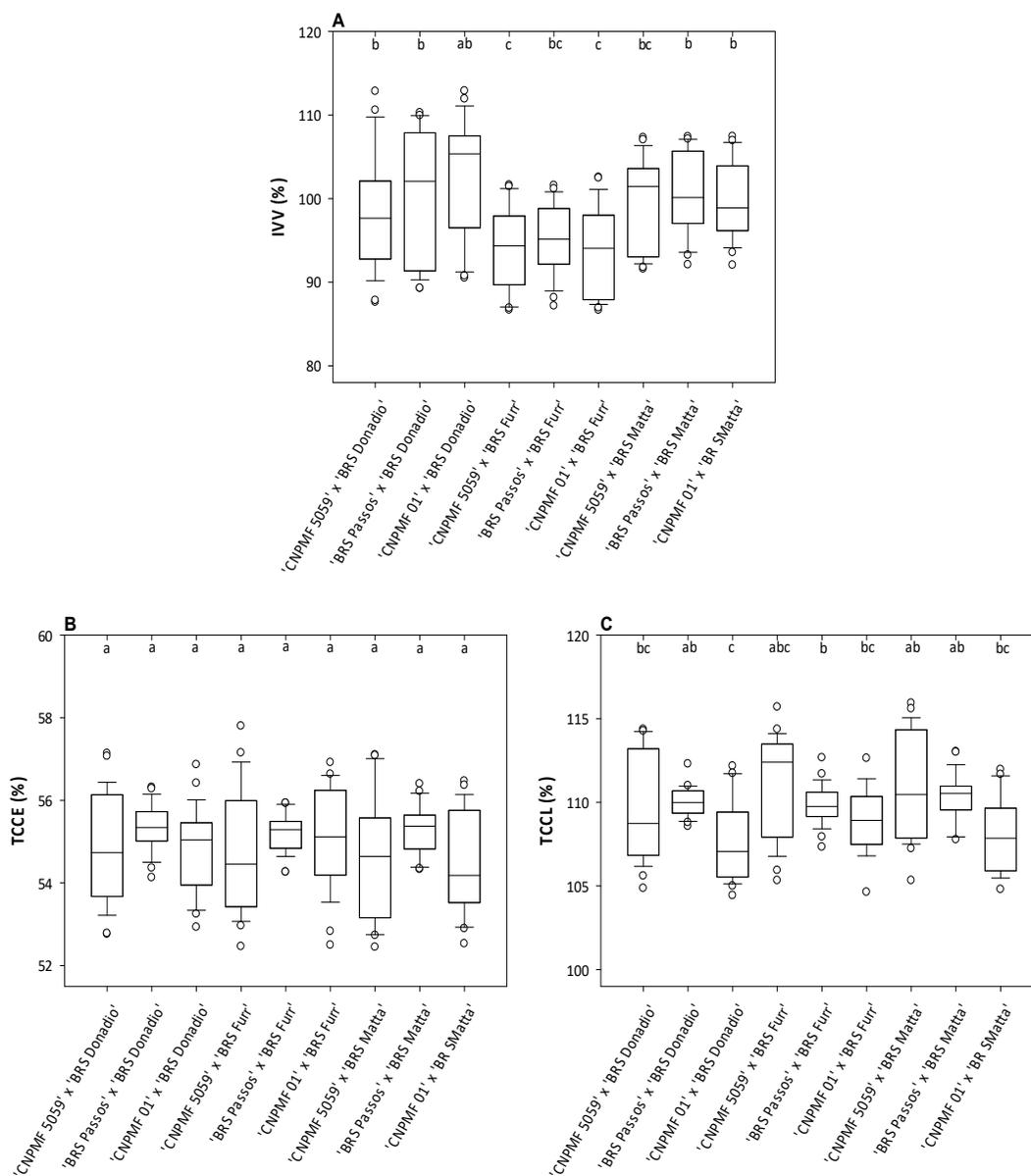


Figura 5. Box plot do (A) Índice vegetativo (IVV); (B) Taxa de cobertura na entrelinha (TCCE); (C) Taxa de cobertura na linha (TCCL) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

4.3.2 Estimativa de plantas por hectare

A população de plantas estimada para cada combinação variou de 667,91 a 686,45 plantas ha⁻¹ (Tabela 2).

Tabela 2. Valores reais do diâmetro da copa na linha (DL) e entre linha (DE), espaçamento teórico e produção teórica das combinações de copas enxertadas sobre os porta-enxertos, nas condições de Iranduba-AM.

Combinação	DL (m)	DE (m)	EL (m)	EE(m)	Espaçamento teórico*	População teórica (plantas. ha ⁻¹)
'BRS Passos' x 'BRS Donadio'	3,32	3,3	2,82	5,3	2,82 x 5,30	668,66
'BRS Passos' x 'BRS J Furr'	3,31	3,3	2,82	5,3	2,82 x 5,30	670,41
'BRS Passos' x 'BRS Matta'	3,32	3,31	2,82	5,31	2,82 x 5,31	667,91
'CNPMF 01' x 'BRS Donadio'	3,29	3,23	2,8	5,23	2,80 x 5,23	684,11
'CNPMF 01' x 'BRS J Furr'	3,31	3,27	2,81	5,27	2,81 x 5,27	675,17
'CNPMF 01' x 'BRS Matta'	3,27	3,24	2,78	5,24	2,78 x 5,24	686,45
'CNPMF 5059' x 'BRS Donadio'	3,29	3,28	2,8	5,28	2,80 x 5,28	676,69
'CNPMF 5059' x 'BRS J Furr'	3,28	3,33	2,79	5,33	2,79 x 5,33	672,01
'CNPMF 5059' x 'BRS Matta'	3,28	3,33	2,79	5,33	2,79 x 5,33	673,77

*Espaçamento teórico = 0,85DL x (DE + 2).

4.3.3 Teor de nutrientes foliares

Para nitrogênio, a combinação ‘BRS Passos’ x ‘BRS Donadio’ obteve a maior média com 20,2 g kg⁻¹ (tabela 3). Em relação aos teores de fósforo e potássio, a combinação ‘CNPMF 01’ x ‘BRS Donadio’ obteve os maiores teores foliares que as demais combinações. Para os teores de cálcio, ‘CNPMF 5059 x ‘BRS Matta’ foi superior enquanto para magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro e manganês não houve diferenças significativas. Nos teores de zinco, quatro combinações foram superiores as demais, ‘BRS Passos’ x ‘BRS Donadio’, ‘CNPMF 01’ x ‘BRS Donadio’, ‘CNPMF 01’ x ‘BRS J Furr’, e ‘CNPMF 01’ x ‘BRS Matta’.

Tabela 3. Teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), Manganês (Mn), e zinco (Zn), na parte aérea combinações copa/ porta enxerto de limeira ácida ‘Tahiti’. Iranduba, Amazonas, 2022.

Combinações	g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
‘BRS Passos’ x ‘BRS Donadio’	20,2 a	2,0 ab	14,7 ab	23,2 ab	2,2 a	1,5 a	78,2 a	3,5 a	65,2 a	5,2 a	13,7 abc
‘BRS Passos’ x ‘BRS J Furr’	17,5 ab	1,8 ab	14,2 ab	18,5 ab	1,8 a	1,4 a	63,0 a	2,7 a	46,0 a	5,7 a	12,2 bc
‘BRS Passos’ x ‘BRS Matta’	17,2 ab	1,6 b	13,7 b	18,5 ab	1,7 a	1,1 a	63,2 a	2,5 a	45,2 a	5,2 a	10,2 c
‘CNPMF 01’ x ‘BRS Donadio’	18,7 ab	2,4 a	17,5 a	20,0 ab	2,2 a	1,6 a	65,7 a	3,7 a	71,5 a	12,0 a	17,0 abc
‘CNPMF 01’ x ‘BRS J Furr’	16,5 b	2,0 ab	14,7 ab	19,0 ab	1,8 a	1,3 a	70,2 a	3,7 a	52,5 a	6,7 a	18,7 abc
‘CNPMF 01’ x BRS Matta	16,5 b	1,6 ab	15,0 ab	16,7 b	1,8 a	1,2 a	60,0 a	3,2 a	50,5 a	6,0 a	15,5 abc
‘CNPMF 5059’ x ‘BRS Donadio’	19,2 ab	1,8 ab	12,7 b	22,5 ab	2,3 a	1,3 a	80,2 a	3,0 a	64,5 a	5,5 a	14,5 bc
CNPMF 5059 x ‘BRS J Furr’	17,2 ab	1,9 ab	13,7 b	19,5 ab	1,8 a	1,4 a	77,2 a	3,0 a	51,5 a	4,5 a	12,5 bc
CNPMF 5059 x BRS Matta	17,7 ab	1,8 ab	13,2 b	25,2 a	1,9 a	1,5 a	70,7 a	2,2 a	62,7 a	9,7 a	11,5 c
F	3,16	2,93	3,28	3,37	3,46	1,98	2,6	0,52	2,81	1,85	5,97
DMS	3,41	0,65	3,61	7,07	0,56	0,5	21,85	3,48	26,86	8,66	5,32
CV (%)	8,01	14,35	10,53	14,59	12,05	14,97	13,15	47,43	19,93	53,93	15,97

*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% e probabilidade.

4.4 DISCUSSÃO

4.4.1 Análise de crescimento

Ao avaliar o crescimento das plantas em campo, observou-se que houve pouca variação de altura (H) entre as plantas. Apesar de preliminares, os resultados de altura de planta dão um indicativo dos porta-enxertos com tendência a redução do tamanho da copa. Esses porta-enxertos são utilizados na citricultura brasileira, devido a compatibilidade com diversas copas comerciais e boa adaptação em regiões com ocorrência de seca, tendo vista o vigor e maior profundidade e condutividade hidráulica das raízes (AZEVEDO; ALMEIDA; MARTINELLI; PRÓSPERO *et al.*, 2020; COSTA; SANTOS; JESUS; SAMPAIO *et al.*, 2019; RONCATTO; ROMANO; MARINI; CARAVINA *et al.*, 2019).

Em relação ao índice de conformação da copa (IC), deve-se salientar que plantas com índice próximo a 1,0 apresentam copa de formato mais equilibrado, e valores mais altos denotam uma copa mais esguia e mais baixos, uma copa espalhada. Neste estudo, não houve diferenças significativas entre as combinações que chegaram próximo a 1. Em cidades próximas a área de estudo, esses valores variaram de 0,54 a 0,69 para limeira ácida 'Tahiti' (MARTEL; NETTO; SOUZA FALCÃO).

Assim como na altura, o valor de volume da copa (VC) também foi satisfatório. No momento de avaliação, o volume da copa da limeira ácida Tahiti foram menores que 19 m³, devido ao uso da laranjeira trifoliada *Flying Dragon*, porta-enxerto anão. Em Manaus e Manacapuru, ambas no Amazonas, o volume de copa variou de 80 a 121 m³, isso quando enxertados em limoeiro "rugoso" (*Citrus jambhiri* Lus), e em limoeiro "Cravo" (*Citrus limonia* Osbeck), dois porta enxertos que atingem tamanhos convencionais (MARTEL; NETTO; SOUZA FALCÃO)

Essa característica do porta-enxerto viabiliza o manejo dos plantios adensados, ocasionando boa produtividade. Esses sistemas de plantios têm melhor aproveitamento da área de plantio, precocidade na produção de frutos, antecipando ganhos financeiros, o que ocasiona o aumento da renda de pequenos produtores (AZEVEDO; PACHECO; SCHINOR; CARVALHO *et al.*, 2015). Em laranjeiras doces, o uso de trifoliateiros induzem árvores anãs e alta eficiência produtiva, sendo opções

de porta-enxertos adequados para o cultivo da laranja doce (*Citrus sinensis*) (DOMINGUES; MARCOLINI; DA SILVA GONÇALVES; DA SILVA *et al.*, 2022).

Para a variável compatibilidade de copa e porta-enxerto não houve diferenças significativas e os todos os valores foram maiores que 0,9, indicando que a enxertia foi bem-sucedida.

O índice de vigor considera várias medidas como: altura das plantas, diâmetro da copa e do tronco do porta enxerto e é considerado o melhor índice que para avaliar o vigor vegetativo das plantas (BORDIGNON; MEDINA FILHO; SIQUEIRA; PIO, 2003). Apesar de haver diferenças significativas (Figura 4) houve pouca variação em valores absolutos entre os grupos.

Com relação às taxas de cobertura da copa na rua (TCCR), as combinações apresentaram medianas com valores próximos a 55% em um espaçamento de 6 metros, evidenciando um crescimento semelhantes em diâmetro de copas entre os tratamentos. Em fase de formação de pomar, PORTELLA; MARINHO; AMARAL; CARVALHO *et al.* (2015) encontraram 62,6% para a limeira-ácida 'Tahiti'. Devido a esse valor, os autores cogitaram a ideia do aumento de linhas em hectare poderia ser considerado. Ressalta-se que quando os plantios são mecanizados há necessidade da manutenção de maior espaço entre as linhas e, normalmente se utiliza como base um espaçamento que permita 2 metros para circulação de máquinas.

Acerca das taxas de cobertura na linha (TCCL), as medianas foram diferentes e atingiram valores superiores a 107% a 112%, de modo geral. Isso sugere que em um pomar com essas combinações e com o mesmo espaçamento poderá haver uma sobreposição de copas, causando competição por interceptação de luz das folhas. É importante enfatizar que mesmo em plantios não adensados admite-se uma sobreposição de 15% entre as copas na linha de plantio (BLUMER, 2005).

Para MADEMBA-SY; LEMERRE-DESPREZ e LEBEGIN (2012), dependendo da cultivar enxertada, o *Flying dragon* permite o plantio de pomares de alta densidade, entre 519 e 1.111 plantas/ha. Neste estudo, a densidade foi de 555 plantas.ha⁻¹, mas é possível que o adensamento seja maior visto, que ao calcular o valor teórico para cada combinação, a densidade de plantas variou 667,91 a 686,45 plantas.ha⁻¹ (Tabela 2).

4.4.2 Teor de nutrientes foliares

Durante a avaliação do estado nutricional das plantas, não foi possível observar sintomas visíveis de deficiência nutricional, mas ao realizar análise foliar, foi possível comparar os valores com os resultados adequados recomendados para limeira-ácida 'Tahiti' por CAMPBELL e ORTH (1970) e conclui-se que de acordo com esses autores, o nível de nitrogênio está dentro da faixa considerada adequada (20 g kg^{-1}) para a combinação BRS Passos' x 'BRS Donadio' apenas. Os citros geralmente armazenam grandes quantidades de N na biomassa, que é partilhado principalmente com órgãos em desenvolvimento como folhas novas e frutos. Assim, a redução na adubação de N pode diminuir a densidade de copa na fase vegetativa e reduzir a produção de frutos durante a fase vegetativa, por isso é importante que o ajuste na adubação nitrogenada utilizando a análise de teores foliares é importante (QUAGGIO; MATTOS JR; CANTARELLA; ALMEIDA *et al.*, 2002). Em relação aos valores de P, com exceção da combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta', todas os tratamentos estiveram dentro da faixa de nível adequado ($1,8$ a $2,2 \text{ g kg}^{-1}$). O ideal é que a incorporação desse nutriente seja realizada durante a fase de implantação, juntamente com o calcário em suco. Durante este ensaio, essa atividade de manejo foi realizada seguindo as recomendações para a cultura da limeira ácida 'Tahiti'.

Somente as combinações 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio', 'CNPMF 01' x 'BRS Matta' obtiveram teores adequados para K (15 a 20 g kg^{-1}). Para os níveis de Ca e Mg, e S as demais não atingiram os valores considerados adequados para a cultura 35 a 45 g kg^{-1} , $2,5$ a $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,0$ a $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Em relação aos micronutrientes, Boro, Manganês e Zinco são os micronutrientes mais importantes para a produção de citros e a deficiência também é mais frequente em condições de solos brasileiros (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). Os valores para B foram considerados adequados e se encontravam na faixa de 36 a 100 mg kg^{-1} . A deficiência desse nutriente tem se tornando relativamente comum em pomares cítricos e provavelmente não está somente associada a concentração de nutrientes no solo, mas também as condições climáticas e fatores como excesso de chuva ou períodos prolongados de seca, podem reduzir a sua disponibilidade para as plantas. Ademais, em condições onde a transpiração das plantas é menor, como no caso de regiões mais frias, há uma

redução de B (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). Os valores para Mn encontrados nas folhas das combinações foram considerados baixos ao se comparar com a faixa de teor adequada (3,5 a 5,0 mg kg⁻¹). A deficiência de Mn acontece com frequência em plantios de citros, mas a redução de produtividade só ocorre quando os teores são extremamente baixos (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). Os teores de Zn e Cu também foram considerados baixos, quando comparados com a faixa adequada 35 a 50 mg kg⁻¹ e 4,1 a 10,0 mg kg⁻¹, respectivamente. Plantas cítricas com carência de Zn diminuem a brotação e o vigor do enfolhamento, ocasionando na redução de crescimento e conseqüentemente na produção da planta. Sabe-se que porta-enxertos como 'Cleópatra' (*C. reshni* hort. Ex Tanaka) e 'Sunki' [*C. sunki* (Hayata) hort. Ex Tanaka] demandam mais por esse nutriente em relação ao limoeiro 'Cravo' (*C. limonia* Osbeck) (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003), então assim como os outros nutrientes, pode haver demandas diferentes de acordo com a necessidade de cada nutriente. Para os teores de Fe, as combinações 'BRS Passos' x 'BRS J Furr' e 'BRS Passos' x 'BRS Matta'não atingiram a faixa de nutriente considerada adequada (50 a 120 mg kg⁻¹) (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003).

. PENNA; AROUCA; MELLO PRADO; ROZANE *et al.* (2012) observaram que existe a interação entre N e K e que isso afeta diretamente a altura e diâmetro de porta-enxertos para limeira ácida 'Tahiti'. A combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' continha altos teores de N, P, e K e maior altura, quando comparado com as outras combinações. A compatibilidade do porta enxerto é a razão entre os diâmetros de caule de porta-enxerto e enxerto. A boa compatibilidade entre copa e porta enxerto se dá quando esse índice se aproxima de 1 e valores maiores de porta-enxerto contribuem para isso. Neste estudo, não houve diferença na compatibilidade das combinações.

4.5 CONCLUSÃO

A combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' obteve melhores valores, enquanto a combinação 'CNPMF 01' x 'BRS Matta' mostrou o menor desempenho.

Em todas as combinações houve diminuição da altura do porte devido ao uso de clones de *Flying dragon* destacando como uma alternativa para promoção de pomares mais adensados. As copas enxertadas sobre o *Flying dragon* têm maior eficiência produtiva sem que ocorra redução no tamanho ou rendimento de suco dos frutos.

Apesar de não haver sintomas visuais de deficiência mineral ao realizar a análise foliar, os teores de alguns nutrientes foram considerados abaixo do recomendado pela literatura para limeira ácida 'Tahiti'.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, F. A.; PACHECO, C. d. A.; SCHINOR, E. H.; CARVALHO, S. A. d. *et al.* Produtividade de laranjeira Folha Murcha enxertada em limoeiro Cravo sob adensamento de plantio. **Bragantia**, 74, p. 184-188, 2015.

AZEVEDO, F. A. d.; ALMEIDA, R. F. d.; MARTINELLI, R.; PRÓSPERO, A. G. *et al.* No-tillage and high-density planting for Tahiti acid lime grafted onto *Flying Dragon* trifoliolate orange. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 4, p. 108, 2020.

BARNETT, V.; LEWIS, T. Outliers in statistical data. 1978. **John Wiley & Sons**, 286, p. 293.

BLUMER, S. **Citrandarins e outros híbridos de trifoliata como porta-enxertos nanicantes para a laranjeira 'Valência'(Citrus sinensis L. Osbeck)**. 2005. -, Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BORDIGNON, R.; MEDINA FILHO, H. P.; SIQUEIRA, W. J.; PIO, R. M. Características da laranjeira'Valência'sobre clones e híbridos de porta-enxertos tolerantes à tristeza. **Bragantia**, 62, p. 381-395, 2003.

CAMPBELL, C. W.; ORTH, P. G. Effects of three years of differential nitrogen and potassium application on'Tahiti'lime yield and leaf analysis on Rockdale soil in Florida. 1970.

COSTA, J.; SANTOS, G. d.; JESUS, J.; SAMPAIO, A. *et al.*, 2019, **Crescimento de lima ácida´ tahiti´ em diferentes porta enxertos e Manejo de irrigação em clima semiárido**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 26., 2019, Juazeiro, BA/Petrolina

DOMINGUES, A. R.; MARCOLINI, C. D. M.; DA SILVA GONÇALVES, C. H.; DA SILVA, C. E. A. *et al.* Desempenho da laranjeira'Valência' enxertada sobre porta-

enxertos híbridos de trifoliateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 56, n. Y, p. 02403, 2022.

FIGUEIREDO, J. O. D.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; TEÓFILO SOBRINHO, J. *et al.* Porta-enxertos para a lima-ácida-'Tahiti'na região de Bebedouro, SP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 24, n. 1, p. 155-159, 2002.

GUIMARÃES, P.; RIBEIRO, C.; ALVAREZ, V. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª Aproximação. **Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa, BRA**, 1999.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2022.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. : Inmet Brasília, DF 2022.

LEVENE, H. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold Hotelling**, p. 278-292, 1960.

MADEMBA-SY, F.; LEMERRE-DESPREZ, Z.; LEBEGIN, S. Use of *Flying Dragon* trifoliolate orange as dwarfing rootstock for citrus under tropical climatic conditions. **HortScience**, 47, n. 1, p. 11-17, 2012.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. d. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 1997.

MARTEL, J. H. I.; NETTO, M. A. G.; SOUZA FALCÃO, N. P. d. Capítulo: Efeito da época de colheita e do tipo de solo na qualidade e produtividade de Laranja e Limão na Amazônia Central. **Agroecossistemas**, p. 121.

MATTOS JR, D.; NEGRI, J. d.; FIGUEIREDO, J. d. **Lima ácida Tahiti**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003 2003. (Lima ácida Tahiti.

PENNA, L. D.; AROUCA, M. B.; MELLO PRADO, R.; ROZANE, D. E. *et al.* Crescimento de mudas de lima ácida'Tahiti' enxertadas em'*flying dragon*'em função da fertirrigação com nitrogênio, fósforo e potássio. **Nucleus**, 9, n. 1, p. 17-26, 2012.

PORTELLA, C. R.; MARINHO, C. S.; AMARAL, B. D.; CARVALHO, W. S. G. *et al.* Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliateiro'*Flying Dragon*'e limoeiro'Cravo'em fase de formação do pomar. **Bragantia**, 75, p. 70-75, 2015.

QUAGGIO, J.; MATTOS JR, D.; CANTARELLA, H.; ALMEIDA, E. *et al.* Lemon yield and fruit quality affected by NPK fertilization. **Scientia Horticulturae**, 96, n. 1-4, p. 151-162, 2002.

RONCATTO, G.; ROMANO, M. R.; MARINI, J. v.; CARAVINA, S. M. *et al.* Caracterização vegetativa da limeira ácida' tahiti cnpmf 02' sobre 13 porta-enxertos no norte de Mato Grosso. 2019.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

ZEKRI, M.; OBREZA, T. A.; KOO, R.; ALFEREZ, F. Irrigation, nutrition, and citrus fruit quality. **Gainesville: University of Florida**, 2003.

5 ARTIGO II- AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FISIOLÓGICOS DE COMBINAÇÕES COPA/ PORTA ENXERTO PARA LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' EM IRANDUBA.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento fisiológico de novas combinações de copa e porta-enxertos para produção de limão Tahiti nas condições da região do polo citricultor do Amazonas. Após 24 meses do plantio foram avaliadas nove combinações de copa e porta-enxertos em campo nas condições locais quanto a trocas gasosas foliares, fluorescência da clorofila a teores de pigmentos cloroplastídicos, proteínas totais, teor de prolina e compostos fenólicos em folhas. Todas as combinações apresentaram bom desempenho fotossintético e os marcadores de estresse ambiental também foram satisfatórios. Entretanto, a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obteve as melhores médias para parâmetros fotossintéticos em detrimento da combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio'. Apesar disso, todas as combinações copa/ porta enxerto para limeira ácida 'Tahiti' são considerados alternativas promissoras para a região.

Palavras-chave: Trocas gasosas, enxertia, Amazônia.

ARTICLE II- EVALUATION OF THE PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF CANOPY AND ROOTSTOCK COMBINATIONS FOR 'TAHITI' ACID LIME IN IRANDUBA.

ABSTRACT

The objective of this work was to analyze the physiological behavior of new combinations of scion and rootstocks for Tahiti lemon production under the environmental conditions of the Amazonas citrus growing region. After 24 months of planting, 9 combinations of scion and rootstocks were evaluated in the field under local conditions regarding leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, chloroplast pigment content, total proteins, proline content and phenolic compounds in leaves. All combinations showed good photosynthetic performance and environmental stress markers were also satisfactory. However, the combination 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obtained the best averages for photosynthetic parameters to the detriment of the combination 'BRS Passos' x 'BRS Donadio'. Despite this, all scion and rootstock combinations for 'Tahiti' acid lime are considered promising alternatives for the region.

Keywords: Gas exchange, grafting, Amazonia.

5.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores mundiais de limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka) e essa cultura tem um papel significativo na economia e na agricultura (PREVIDELI; ALMEIDA, 2020). Devido a sua extensão territorial, o Brasil possui diversos biomas, com diferentes condições climáticas, o que pode impossibilitar ou dificultar a produção de determinadas espécies ou variedades para uma determinada região (BUAINAIN; FAVARETO; CONTINI; CHAVES *et al.*, 2020).

A Norte possui quase todo o bioma Amazônico e é a maior macrorregião em extensão territorial (COUTINHO, 2016). Em 2022, o estado do Amazonas produziu 2.690 t. de limão enquanto o Pará, principal produtor da região Norte, produziu 87.884 t. (IBGE, 2022b). A cidade de Monte Alegre, no estado do Pará, se especializou na produção de limões e tem exportado principalmente para a cidade de Manaus, no Amazonas (ADEPARA, 2021). A dependência da importação de limão do estado vizinho é uma oportunidade de mercado para que o estado do Amazonas se torne um promissor produtor de citros capaz de abastecer a região metropolitana de Manaus, composta pela capital, e as cidades de Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Manacapuru, Novo Airão, Presidente Figueiredo e Rio Preto da Eva, e ainda podendo abastecer o estado de Roraima por causa da via de acesso (IBGE, 2022a).

Porém, para que o estado se consolide como um bom produtor de limão, são necessários estudos de combinações copa/porta enxerto produtivas e adaptadas para aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos na região. A enxertia traz a benefícios em cultivos como precocidade de produção, aumento da produtividade, melhoria de qualidade de frutos, mudanças na conformação da copa, proteção contra pragas e doenças, e tolerância a estresses abióticos (BALFAGÓN; RAMBLA; GRANELL; ARBONA *et al.*, 2022; CALLEJA-CABRERA; BOTER; OÑATE-SÁNCHEZ; PERNAS, 2020).

Uma das estratégias utilizadas para ampliação da produtividade na citricultura é o adensamento, que tem apresentado bons resultados na produtividade e ganhos econômicos (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012) Entretanto, algumas desvantagens são observadas como a necessidade de podas regulares e a obrigatoriedade de uso de porta-enxertos redutores de porte (ASTHA; NARAYAN; NARAYAN; KHAN, 2022). Ao utilizar esses porta/enxertos contendo estas

característica, deve-se avaliar as exigências dessas variedades quanto a clima, solos, nutrição, compatibilidade com a variedade copa e reação a doenças (STUCHI; GIRARDI; SEMPIONATO; REIFF *et al.*, 2012).

Para avaliar o desempenho de plantas são utilizadas diversas metodologias que abrangem o crescimento e desenvolvimento. Normalmente é utilizada análise quantitativa de características morfológicas do crescimento de plantas (SILVA; BELTRÃO; AMORIM NETO, 2000). Estudos com plantas ananicas, baseados somente em avaliações de crescimento podem não ter bons resultados, uma vez, que essas plantas possuem menor porte e produção de fitomassa, pois os fotoassimilados são reservados para a produção de flores e frutos (BRITO; SOARES; FERNANDES; DE LIMA *et al.*, 2012). Assim, é importante que se utilizem outras metodologias que ajudem a avaliar e comparar a adaptação e o desempenho inicial de plantas com essa característica em uma região ou sob o efeito de algum tipo de estresse.

Plantas adaptadas a uma região podem demandar menos recursos ou insumos agrícolas e compreender sua adaptação pode reduzir a necessidade desses recursos, tornando a agricultura mais sustentável e economicamente viável garantindo a segurança alimentar na região onde se deseja cultivar (CECCARELLI, 1996; ZSÖGÖN; PERES; XIAO; YAN *et al.*, 2022). Esse tipo de estudo permite adaptar sistemas agrícolas e selecionar cultivos mais resistentes e adaptáveis às condições climáticas, que estão em constante mudança (CALLEJA-CABRERA; BOTER; OÑATE-SÁNCHEZ; PERNAS, 2020).

Em condições ambientais adversas, as plantas reduzem principalmente os parâmetros de trocas gasosas, diminuindo a eficiência fotossintética das plantas, devido aos efeitos negativos na biossíntese da clorofila, no desempenho dos fotossistemas, e nos mecanismos de transporte de elétrons, (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020). A concentração de pigmentos fotossintéticos, como clorofilas, carotenoides é possível ter uma compreensão da eficiência fotossintética das plantas e suas alterações de acordo com os estímulos envolvidos (ESTEBAN; BARRUTIA; ARTETXE; FERNÁNDEZ-MARÍN *et al.*, 2015; SIMKIN; KAPOOR; DOSS; HOFMANN *et al.*, 2022). As trocas gasosas entre plantas e o ambiente, ajudam a entender a fotossíntese, a respiração e a transpiração das plantas expostas a determinadas condições ambientais (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020). Enquanto mudanças na fluorescência da

clorofila *a* podem indicar alterações na capacidade das plantas de capturar, usar e dissipar a energia luminosa, um fator importante para seu crescimento e desenvolvimento (MOUSTAKA; MOUSTAKAS, 2023).

Ademais, análises bioquímicas foliares como teor de prolina, teor de proteínas e teor de compostos fenólicos totais, são importantes para determinar níveis de estresse de uma espécie de planta a fatores abióticos e bióticos (RAZA; ASHRAF; ZOU; ZHANG *et al.*, 2020).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de combinações copa/porta-enxertos ananizantes para limeira ácida ‘Tahiti’ por meio do comportamento ecofisiológico das plantas nas condições de campo no município de Iranduba, Amazonas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

As avaliações foram realizadas na Fazenda Santa Rosa localizada em Iranduba AM-070, no Km 5 em plantas com 24 meses composta pelas combinações de três diferentes copas de limeira ácida ‘Tahiti’ (‘BRS Passos’, ‘CNPMPF 5058’ e ‘CNPMPF 01’) e três diferentes portas enxertos oriundos de três variações de *Flying dragon* (‘BRS Donadio’, ‘BRS Matta’ e ‘BRS J Furr’), formando nove combinações. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 3x3, totalizando 9 tratamentos de combinações copa/ porta enxertos, com quatro repetições cada, por bloco. A parcela experimental foi constituída de seis plantas em linha, totalizando 216 plantas.

O clima da região é do tipo “AM” na classificação de Koppen (2021). Os dados do clima no local do experimento foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos do INMET, com base em várias estações meteorológicas espalhadas pelo Brasil. A estação meteorológica adequada para a região mais próxima do experimento é a que fica localizada em Manaus, Amazonas. A temperatura média mínima durante o período do experimento foi de 24,9 °C enquanto a temperatura máxima média foi de 32,6 °C. A precipitação média mensal durante este período foi de 213,54 mm (INMET, 2022).

Na figura 6, é possível observar as variações de temperatura durante o período que as combinações copa/ porta-enxerto foram avaliadas.

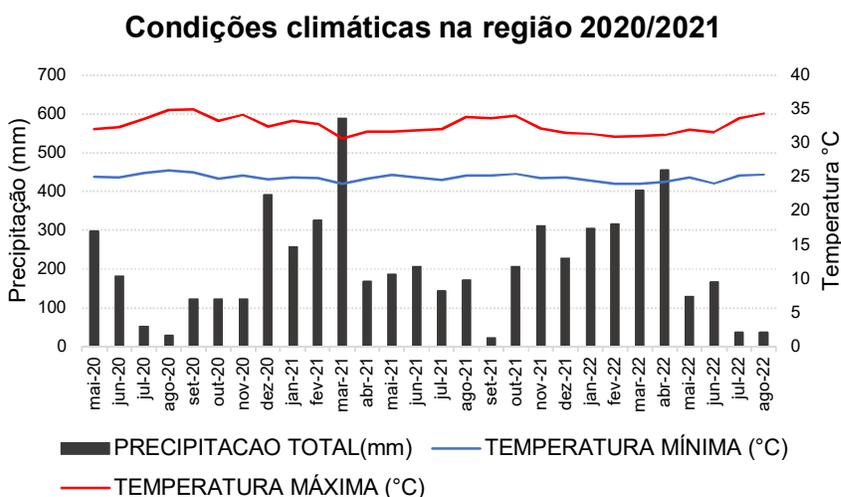


Figura 6. Variação mensal de precipitação, temperatura mínima e temperatura máxima durante o período do experimento. Iranduba, Amazonas.

A temperatura ideal para o pleno desenvolvimento dos citros pode variar de acordo com a variedade e o estágio de desenvolvimento da planta, e está em torno de 25 °C a 30 °C (MACHADO et al., 2005). É possível observar as variações de temperatura durante o período que as combinações de copa e porta-enxerto foram cultivadas onde as temperaturas máximas mensais atingem temperaturas maiores que 30° C.

5.2.1 Índice SPAD

O índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) é uma medida usada para determinar a clorofila ou o teor de verde em uma folha, indicando assim a saúde e o estado nutricional da planta. As determinações do índice de conteúdo de clorofila foram realizadas nos mesmos folíolos utilizados para as análises de fluorescência, mensuradas em clorofilômetro portátil (modelo SPAD-502 Plus), entre 8 h e 10 h aleatoriamente, de modo que as avaliações fossem homogêneas entre os tratamentos.

5.2.2 Trocas gasosas foliares

A determinação das variáveis relacionadas às trocas gasosas e fluorescência da clorofila a foi realizada com analisador de gás a infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6800, com fluorômetro acoplado. Os dados foram coletados, entre 7:00 e 13:00 horas, em folhas completamente expandidas e bom estado fitossanitário.

O aparelho foi ajustado com uma densidade de fluxo de fótons saturante (PPFD) de 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, fluxo de CO_2 de 400 $\mu\text{mol s}^{-1}$, temperatura de 31° C e vapor de H_2O com 50 mmol mol^{-1} (SANTOS JR; CARVALHO GONÇALVES; FELDPAUSCH, 2006). Desse modo, foi possível obter as seguintes variáveis: taxa de assimilação de CO_2 (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_{sw}) ($\text{mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i). Posteriormente, foi calculada a eficiência instantânea no uso da água (EUA), intrínseca no uso da água ($EiUA$), por meio da divisão A/E [$(\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1})$ ($\text{mol$

$\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), eficiência intrínseca da carboxilação Φ_c por meio da divisão A/C_i (SILVA; BRITO; SÁ; MOREIRA *et al.*, 2014).

5.2.3 Fluorescência da clorofila a

Para determinação das características da fluorescência da clorofila a as folhas foram previamente aclimatadas ao escuro por 30 min e em seguida foi aplicado um pulso de luz saturante ($3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para determinação da fluorescência inicial (F_0) e fluorescência máxima (F_m). Também foi determinado o rendimento quântico efetivo (F_v/F_m) (KRAMER; AVENSON; EDWARDS, 2004).

5.2.4 Teores de pigmentos cloroplastídicos

Para determinação de pigmentos as folhas foram coletadas do terço médio das plantas, acondicionadas em papel alumínio e sacos plásticos, armazenadas em caixas térmicas com gelo para evitar a desidratação das folhas e degradação das clorofilas e posteriormente foram levadas ao Laboratório Ciência de Plantas Daninhas (LCPD), na Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

Para a determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos foram retiradas amostras de 0,1g de material vegetal fresco e maceradas com 10 ml de acetona (100% v/v) + 10 ml de uma solução de acetona (80% v/v) contendo MgCO_3 (0,5% p/v). Posteriormente o extrato foi filtrado em papel filtro qualitativo nº 2 e o extrato filtrado foi usado para determinar a absorvância nos comprimentos $\lambda = 663, 645$ e 480 nm , com auxílio do espectrofotômetro, a fim de obter as concentrações de clorofila a (chl a), clorofila b (chl b) e carotenoides (cx+c), respectivamente. Para cálculo das concentrações dos pigmentos cloroplastídicos, tanto na base da massa ($\mu\text{mol g}^{-1}$), quanto na base da área ($\mu\text{mol cm}^{-2}$), foram utilizadas as equações descritas por HENDRY e PRICE (1993).

5.2.5 Determinação de proteínas totais

A determinação dos teores de proteína solúvel total foi realizada de acordo com o método de Bradford (1976) utilizando o corante Coomassie Blue R e tendo como padrão albumina bovina. A leitura foi realizada em espectrofotômetro no

comprimento de onda de 595 nm e o teor de proteína solúvel total foi expresso em mg de proteína por grama de massa seca (BRADFORD, 1976).

5.2.6 Quantificação do teor de prolina

A determinação do teor de prolina foi realizada conforme a metodologia descrita por BATES; WALDREN e TEARE (1973) com modificações. Aproximadamente 30 mg de tecido foliar seco foram homogeneizados em 6 mL de ácido sulfossalicílico 3% (p/v). Após centrifugação (7500 rpm) por 10 min, 2 mL do extrato foram coletados e adicionados a 2 mL de solução ácida de ninhidrina (1,25 g de ninhidrina; 30 mL de ácido acético glacial; 20 mL de ácido fosfórico 6 M) e 2 mL de ácido acético glacial, em tubos de microcentrífuga de 15 mL. As amostras foram incubadas a 100 °C por 1 h e em seguida colocadas em gelo para paralisar a reação. À solução foram adicionados 4 mL de tolueno, seguindo de agitação por 20 s para a completa extração da prolina. O sobrenadante foi utilizado para a leitura em espectrofotômetro a 520 nm e as absorbâncias comparadas à curva-padrão de prolina (0 a 100 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$). Os resultados obtidos expressos em micromol de prolina por grama de massa seca ($\mu\text{mol} \cdot \text{g MS}^{-1}$).

5.2.7 Teor de compostos fenólicos totais

A determinação dos compostos fenólicos foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Waterhouse 2002, utilizando-se o reagente de Folin-Ciocalteu. A curva de calibração foi obtida fazendo-se uso de seis diluições de ácido tânico (10-120 $\mu\text{g/L}$). As mensurações das absorbâncias das amostras em função da concentração foram feitas em espectrofotômetro UV/VIS Quimis a 760 nm.

5.2.8 Análise estatística

Os resultados obtidos foram analisados quanto a presença de valores discrepantes (*outliers*) (BARNETT; LEWIS), e previamente submetidos aos testes SHAPIRO e WILK (1965) e LEVENE (1960) para verificar o pressuposto de normalidade e homogeneidades de variância dos dados. Para os dados que atenderam o princípio da normalidade, a disparidade das variáveis entre as diferentes combinações foi testada pela análise de variância (ANOVA one-way) e teste Tukey

($p < 0,05$). Nas análises de dados que não atenderam os princípios da normalidade e homogeneidade foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$). As figuras foram apresentadas na forma *de box plot* onde as caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers.

5.3 RESULTADOS

Nesse estudo foram avaliadas as respostas fisiológicas no índice SPAD, trocas gasosas foliares, fluorescência da clorofila a teor de pigmentos foliares, análises bioquímicas (teor de proteína, prolina e compostos fenólicos totais), e pigmentos foliares, de combinações de copa e porta enxerto em Iranduba, Amazonas.

O índice SPAD foi utilizado para investigar possíveis diferenças na integridade da maquinaria do sistema fotossintético e do estado da clorofila dos diferentes tipos de combinações de copa e porta enxerto. Não houve diferença significativa entre os tratamentos e a média variou de 58 a 64 (Figura 6).

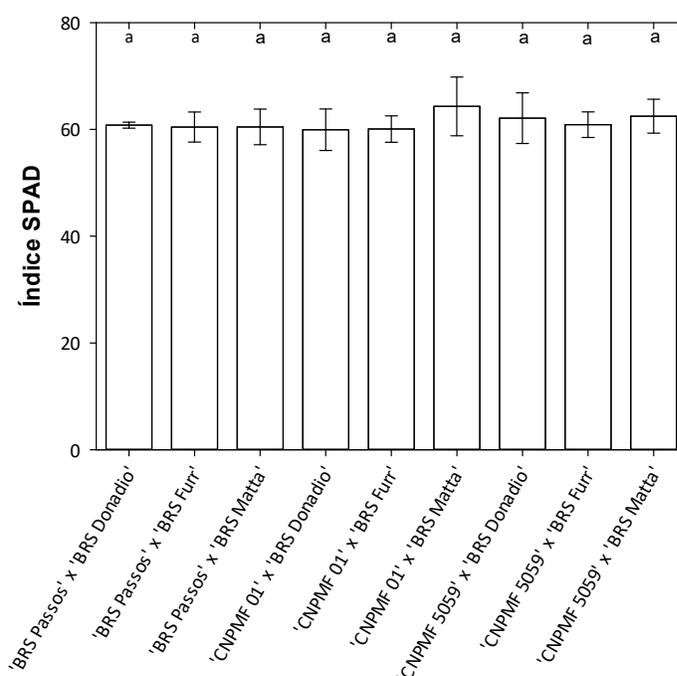


Figura 7. Índice SPAD em folhas de combinações copa/ porta enxerto. Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as barras representam o erro padrão.

Na figura 7 os resultados para as trocas gasosas. A taxa de assimilação de CO_2 foi maior para a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta' com a maior média $15,11 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Os outros tratamentos foram estatisticamente iguais, sendo a menor média para a combinação 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio' com a média de $10,73 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Figura 7a).

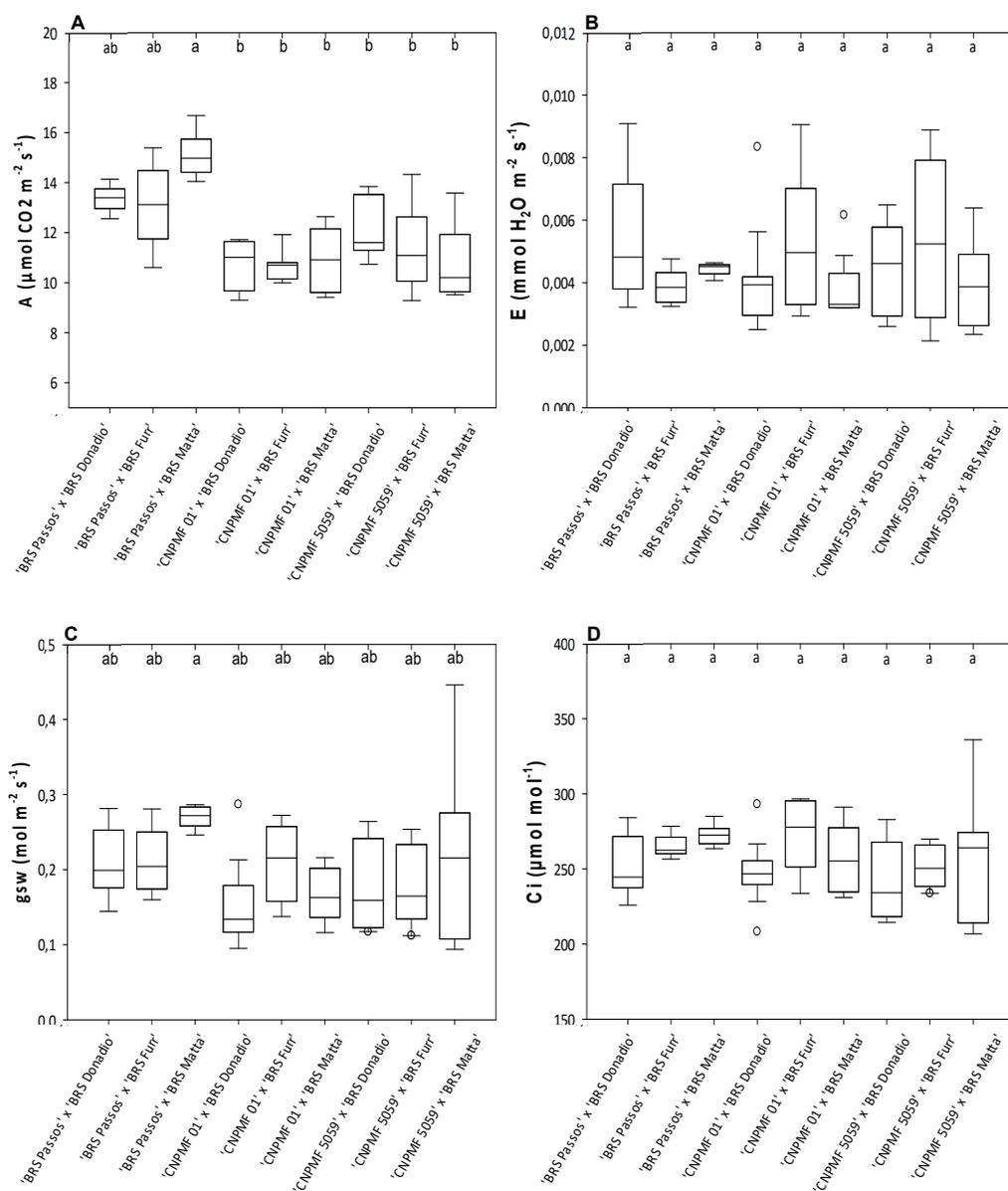
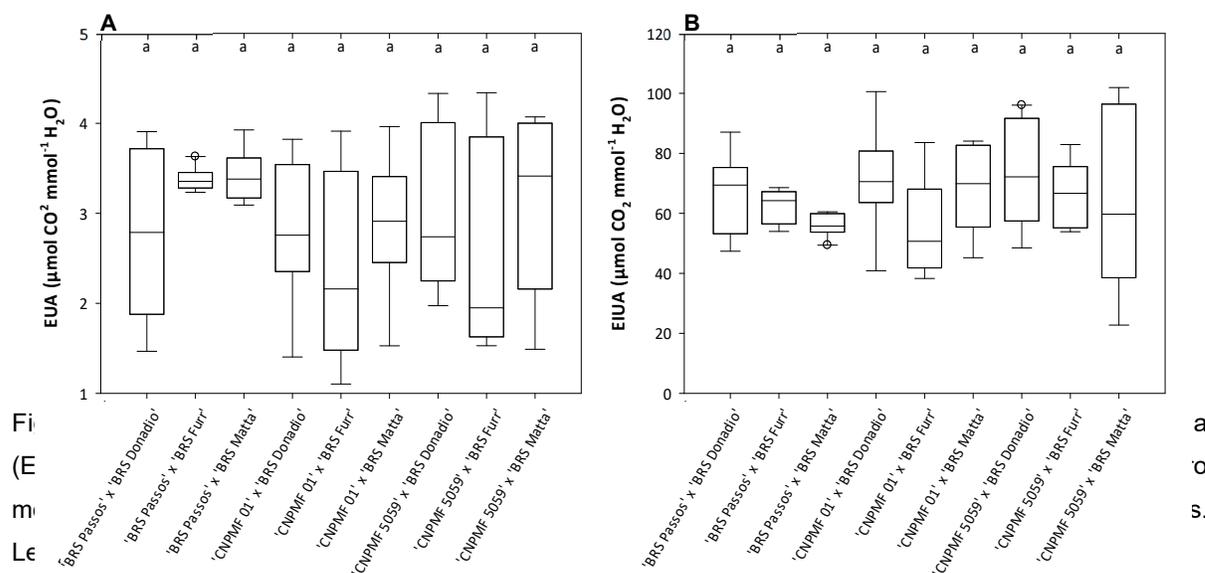


Figura 8. Box plot da (A) taxa de assimilação de CO₂ (A), (B) transpiração (E), (C) condutância estomática (gs_w) e (D) concentração interna de CO₂ (C_i) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

No que diz respeito a transpiração, todas as combinações foram estatisticamente iguais com a média de 0,0046 73 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (Figura 7b). A

combinação que se sobressaiu na condutância estomática foi a 'BRS Passos' x 'BRS Matta' com a média de $0,2700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As outras combinações foram estatisticamente iguais e tiveram $0,2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 7c). Não houve diferenças significativa entre os tratamentos para a concentração interna de CO_2 , com a média de $257,22 \mu\text{mol mol}^{-1}$ entre os tratamentos (Figura 7d).

Na Figura 9, verifica-se que para eficiência instantânea de uso da água e eficiência intrínseca no uso da água não houve diferença significativa. As combinações atingiram em média $2,92 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ (Figura 8a) e $64,92 \text{ CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ (Figura 8b) respectivamente.



Ao medir a eficiência intrínseca da carboxilação (Figura 10) de combinações de copa e porta enxerto, observou-se que houve diferença significativa e a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obteve a maior média (0,556).

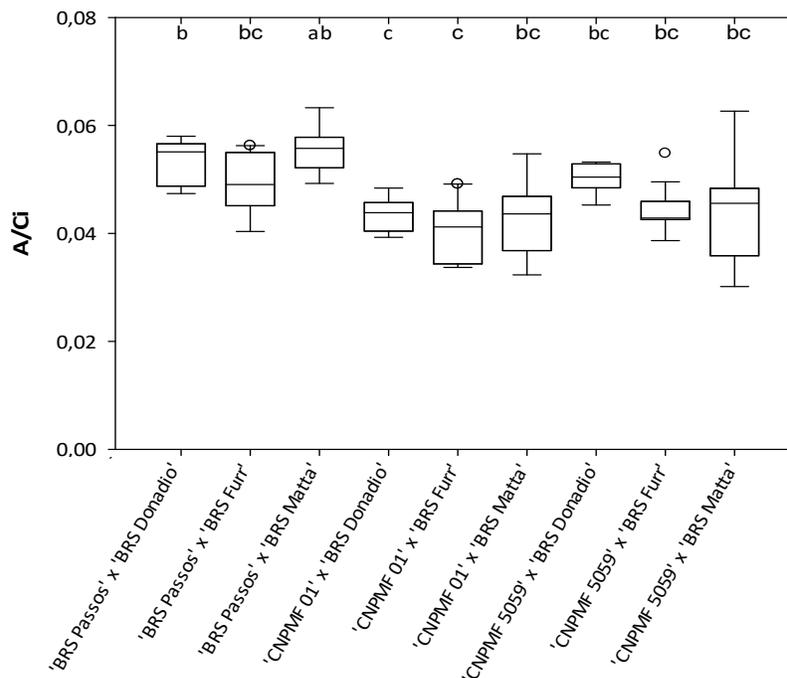


Figura 10 Box plot da relação A/Ci, que representa a eficiência intrínseca da carboxilação de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

A fluorescência da clorofila *a*, para a variável fluorescência inicial (F_0), é possível observar na figura 11a que houve diferença significativa e a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' obteve a menor média, com 714,0, enquanto as outras combinações obtiveram em média 774,55. Para fluorescência máxima da clorofila (F_m), não houve diferença significativa e as combinações tiveram em média 249,80 (Figura 11b). Ao avaliar o rendimento quântico efetivo (F_vF_m), não houve diferença significativa e os tratamentos tiveram em média 0,7792 (Figura 11c).

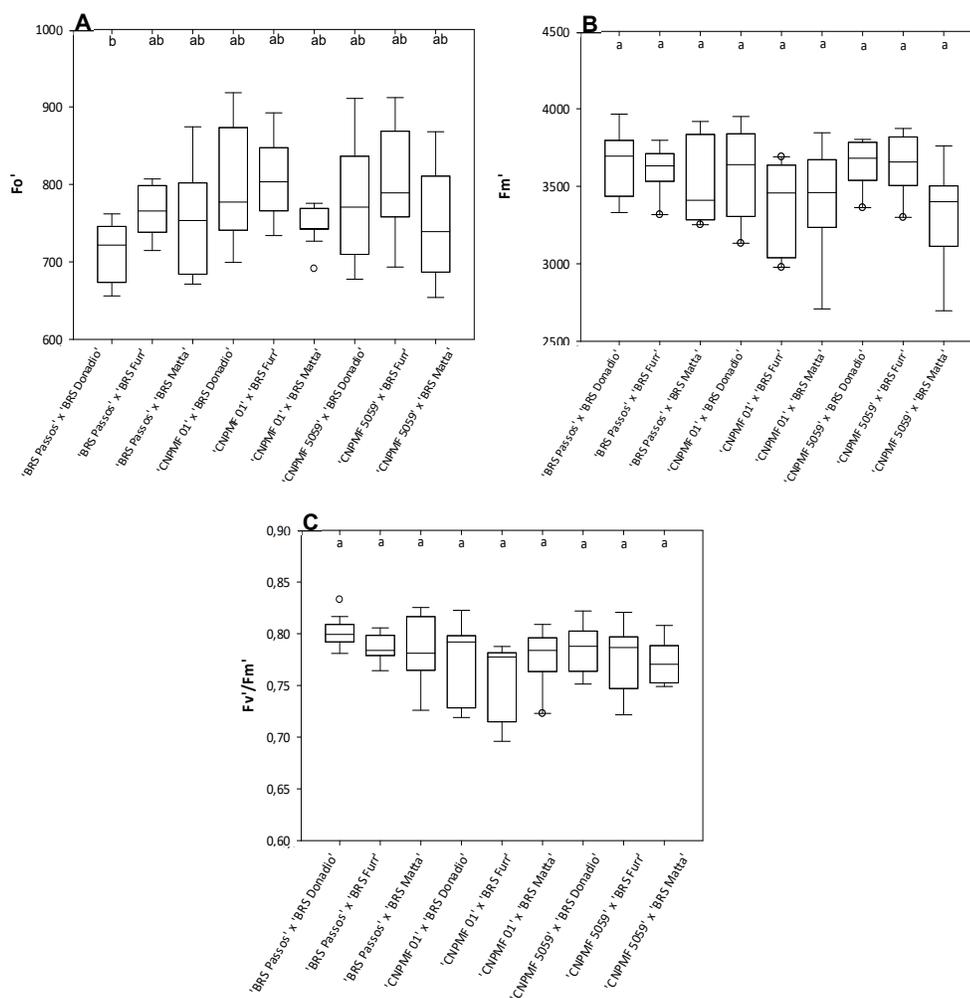


Figura 11. Box plot da (A) fluorescência inicial (F_0) e (B) fluorescência máxima (F_m) e (C) rendimento quântico efetivo (F_v/F_m) de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Não houve diferenças significativas nos teores pigmentos cloroplásticos e carotenóides. Para o teor de clorofila *a* a média foi de 2,82 mg g⁻¹ (Figura 12a) enquanto para clorofila *b*, o teor foi de 0,90 mg g⁻¹ (Figura 12b). O teor de carotenóides foi em média 3,73 mg g⁻¹ (Figura 12c) e a razão clorofila *a*/clorofila *b*.foi de 3,11 mg g⁻¹ (Figura 12d).

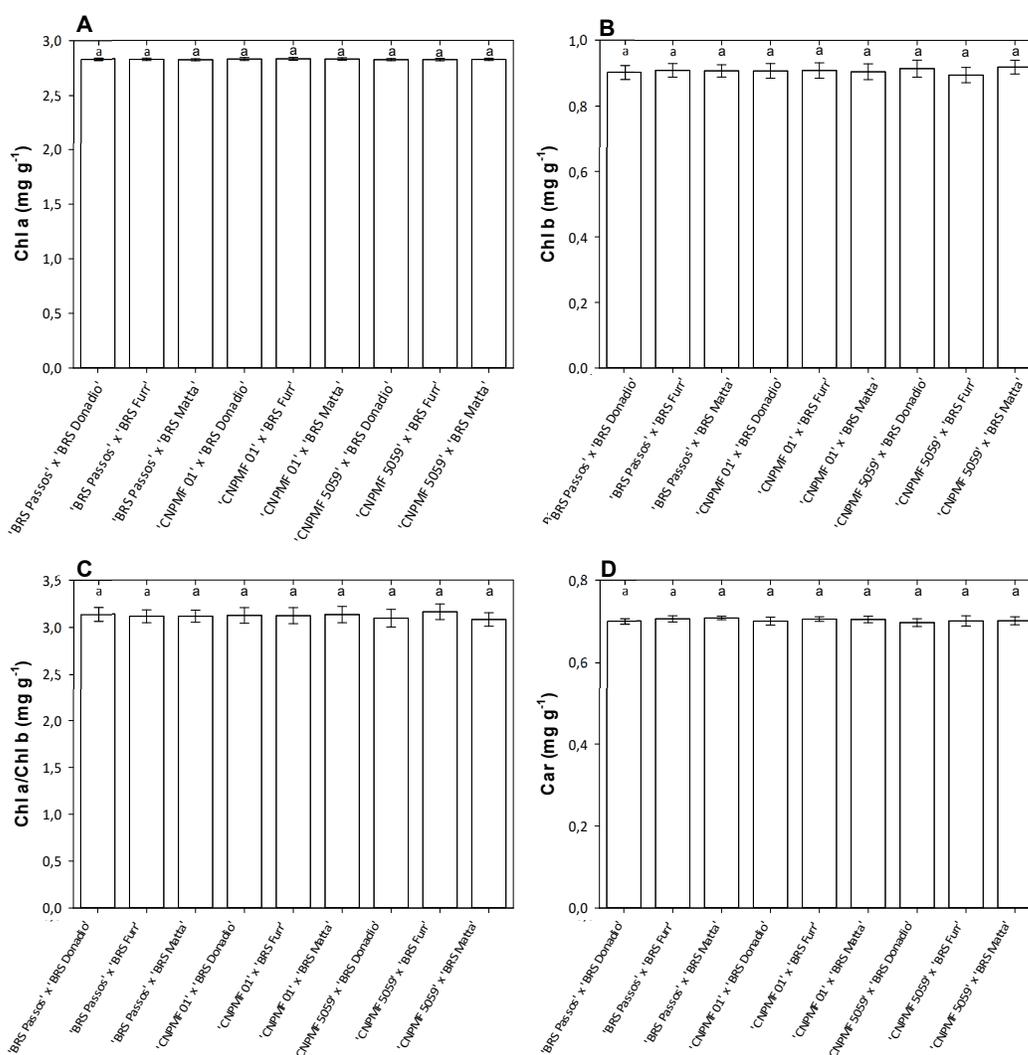


Figura 12. *Box plot* do (A) teor de clorofila *a*, (B) teor de clorofila *b*, (C) relação de clorofila sobre clorofila *b* e (D) teor de carotenóides de combinações copa/ porta enxerto. As caixas mostram os percentis de 25 e 75 %, barras de erro mostram os percentis de 10 e 90 %, quadrados cheios mostram a mediana e círculos vazios mostram outliers. Letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos pelo teste de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Análises químicas foram realizadas e o teor de proteína, prolina e compostos fenólicos foram avaliados. Para o teor de prolina houve diferença significativa e a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' obteve a maior média com $12,58 \text{ g}^{-1}$ de matéria seca (MS), enquanto a combinação 'CNPMPF 5059' x 'BRS Matta' obteve a menor média com $10,67 \text{ g}^{-1}$ de MS. Os níveis de prolina não foram estatisticamente diferentes, com teor médio de $96,41 \mu\text{g.g}^{-1}$. Os valores de compostos fenólicos totais também não diferiram estatisticamente, e o teor médio foi de $168 \text{ mg EAT.g}^{-1}$.

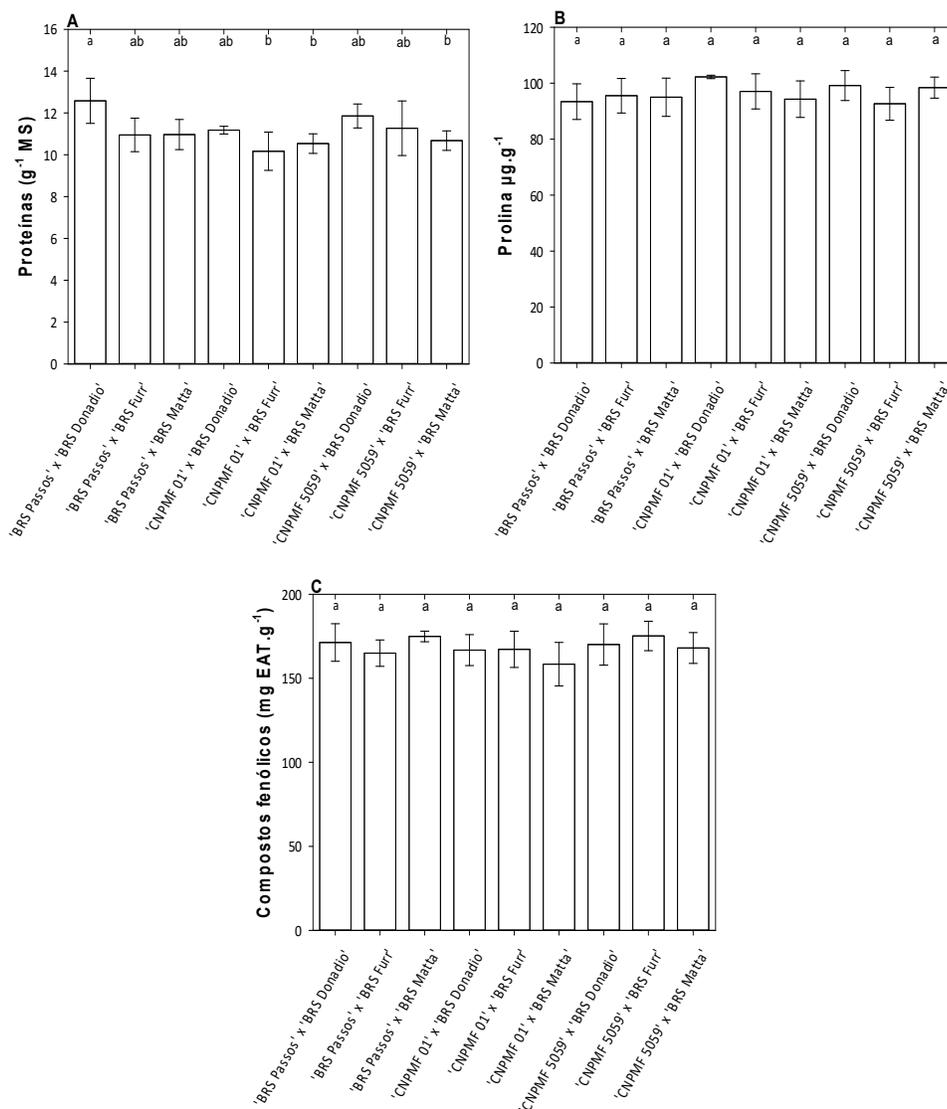


Figura 13. Teor de proteínas, (B) prolina e (C) compostos fenólicos totais em folhas de combinações copa/ porta enxerto. Médias seguidas com a mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) e as barras representam o erro padrão.

5.4 DISCUSSÃO

Avaliação do aparato fotossintético

As medições fotossintéticas são de grande importância, pois a fotossíntese está diretamente relacionada ao crescimento das plantas e, na agricultura, ao rendimento das culturas. As condições do ambiente adversas têm impacto negativo na atividade fotossintética, reduzindo o rendimento e a produtividade das culturas (CALZADILLA; CARVALHO; GOMEZ; LIMA NETO *et al.*, 2022).

O índice SPAD é bastante utilizado para avaliar a concentração de clorofila, que está diretamente relacionada à capacidade da planta de realizar fotossíntese, avaliar o estado nutricional de plantas, principalmente no que diz respeito ao teor de nitrogênio (MEHRABI; SEPASKHAH, 2022). A absorvância de luz pelas folhas é a capacidade das folhas de absorverem a luz incidente sobre elas. Quando a luz incide sobre uma folha, os pigmentos presentes nela absorvem comprimentos de onda eletromagnética principalmente nos comprimentos de onda associados às cores vermelha e azul, enquanto refletem ou transmitem outras partes do espectro como o verde. A clorofila é eficiente na absorção de luz nas faixas vermelha e azul, mas reflete mais luz na faixa verde, o que dá às folhas sua coloração característica. Quando se mede a absorvância da luz pelas folhas, a quantidade de luz que está sendo absorvida pelos pigmentos. Desse modo, índice SPAD é considerado boa ferramenta para identificar integridade do sistema fotossintético e auxilia no entendimento do processo fotoquímico de plantas. Este recurso também pode ser utilizado para analisar os pigmentos fotossintéticos de forma não destrutível, auxiliando também na avaliação de nitrogênio total (HAWKINS; GARDINER; COMER, 2009; NETTO; CAMPOSTRINI; OLIVEIRA; BRESSAN-SMITH, 2005).

No estudo realizado por WANG; DENG; HUANG; XIONG *et al.* (2022), os autores chegaram a conclusão que a união da copa e do porta enxerto se correlaciona positivamente com o valor SPAD, mostrando que a leitura do SPAD pode ser utilizada como um índice na fase de pré-seleção para a avaliação da compatibilidade do enxerto e da copa. Com o passar do tempo, as combinações enxertadas com menor leitura de SPAD apresentaram piores características de compatibilidade e crescimento.

Ao avaliar esse índice nas combinações de copa e porta enxerto, os valores variaram de 58 a 54. Em outro estudo realizado por AL-TAMIMI; ALI; KADHIM e SHATTI (2020) foram encontrados valores que variaram de 53,5 a 49, 7 para plantas jovens de Swingle Citrumelo. MISHRA; BAHADUR; DAWSON; THOMAS *et al.* (2021) encontraram a média de 64, 67 para limeira ácida (*Citrus aurantifolia* Swingle) cv Vikram.

O valor exato de um índice SPAD para plantas saudáveis pode variar dependendo da espécie da planta, das condições de crescimento, fatores ambientais como disponibilidade de luz, temperatura, umidade do solo, concentração de nutrientes, estresse hídrico (XIONG; CHEN; YU; GAO *et al.*, 2015) e da idade das folhas (CARMO MILAGRES; FONTES; SILVEIRA; MOREIRA *et al.*, 2018). Normalmente, um índice SPAD considerado adequado para muitas plantas cultivadas fica dentro de uma faixa específica, mas não há um valor único para todas as espécies de plantas. No entanto, diferentes espécies de plantas têm diferentes níveis de pigmentação de clorofila, o que pode influenciar os valores de referência do índice SPAD cafeeiro (*Coffea canephora*), as leituras do SPAD menores que 40 representam prejuízo no processo fotossintético (NETTO; CAMPOSTRINI; OLIVEIRA; BRESSAN-SMITH, 2005).

Atualmente, as medições de trocas gasosas tem sido utilizada como um dos principais métodos mais utilizados para estudar a fotossíntese em plantas (CALZADILLA; CARVALHO; GOMEZ; LIMA NETO *et al.*, 2022) e foi utilizado para avaliar o desempenho fotossintético das plantas cultivadas em Iranduba.

A taxa fotossintética ou taxa de assimilação de CO₂ (A) das folhas é controlada pela temperatura ambiente, umidade do solo, umidade do ambiente, disponibilidade de nutrientes, luz, e concentração atmosférica de CO₂ (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020). para RIBEIRO e MACHADO (2007) devido a característica de serem plantas perenes, com metabolismo fotossintético C3 (fixam o CO₂ atmosférico utilizando exclusivamente o Ciclo de Calvin-Benson), as árvores cítricas apresentam baixas taxas fotossintéticas em condições naturais, com valores máximos em torno de 13 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Em climas subtropicais, taxas fotossintéticas maiores podem ser encontradas, desde que haja boa disponibilidade de água para que possa comportar a transpiração, além disso, é necessária uma faixa

de temperatura razoável para sustentar a fotossíntese durante a maior parte do ano (RIBEIRO; MACHADO, 2007).

Ao avaliar as combinações de copa e porta enxerto, observou-se que taxa de assimilação de CO₂ foi igual entre os grupos de copas ('BRS Passos', 'CNPMF 01' e 'CNPMF 5059') e a taxa de assimilação de CO₂ entre as combinações no geral variou, com a maior média 15,11 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ para 'BRS Passos' x 'BRS Matta' e 10,73 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹ para 'CNPMF 01' x 'BRS Donadio'. Esses valores foram superiores ao encontrado em por PINTO; COSTA; COSTA; PIRES *et al.* (2023) onde a variação foi de 9,51 a 6,89 CO₂ m⁻² s⁻¹ para limeira ácida 'Tahiti'. Assim, apesar da variação de assimilação de CO₂ nas folhas das combinações testadas em Iranduba, todas tiveram bons resultados em relação a este parâmetro. Sabe-se que pode haver diferenças de taxas de assimilação de CO₂ entre cultivares de plantas, sem que isso necessariamente ocasione em diferenças na produtividade (DALASTRA; ECHER; GUIMARÃES; HACHMANN *et al.*, 2014). Ademais, a escolha do porta enxerto na combinação pode melhorar a eficiência do uso da água pelas plantas cítricas (relação entre fotossíntese e transpiração) (SILVA; MIRANDA; CUNHA; DOMINGUES-JR *et al.*, 2023) aumentando a taxa fotossintética, crescimento da planta e da produtividade. (JOVER; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA; RODRÍGUEZ-GAMIR; LEGAZ *et al.*, 2012).

Desse modo, apesar da variação de assimilação de CO₂ nas folhas das combinações testadas em Iranduba, todas tiveram bons resultados em relação a este parâmetro.

A taxa fotossintética e a transpiração estão interligadas através dos estômatos e do processo de troca gasosa nas folhas. A transpiração (*E*) em plantas é um processo pelo qual a perda do vapor de água é regulada principalmente pelos estômatos, para atender à demanda fotossintética de CO₂, enquanto reduzem a perda de água para a atmosfera (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Esse processo é fundamental para otimizar o uso eficiente de recursos (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020).

Vários estresses ambientais podem causar alterações na transpiração das plantas, influenciando diretamente a taxa de perda de água para a atmosfera, como estresse hídrico, altas temperaturas, baixa umidade do ar, salinidade do solo ou meio de cultivo, deficiência nutricional, estresse por ausência ou deficiência de luz, (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020). No que diz respeito

a transpiração, a média dos valores encontrados neste experimento foi de 0,0046 73 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (4,6 μmol H₂O m⁻² s⁻¹). Em cultivos irrigados de limão Tahiti esses valores variam de 4 a 7 μmol m⁻² s⁻¹ e (PINTO; COSTA; COSTA; PIRES *et al.*, 2023), um valor considerado bom para a cultura (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). Desse modo, é possível inferir que as combinações de 'Tahiti' cultivadas em Iranduba apresentaram um bom controle estomático evitando a desidratação enquanto atingiam altas taxas e manutenção do status hídrico da planta.

A condutância estomática (*g_{sw}*) diz respeito a facilidade com que os estômatos, permitem a troca de gases entre o interior da folha e o ambiente externo o que afeta a eficiência fotossintética (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*, 2020). A combinação que obteve maior valor foi a 'BRS Passos' x 'BRS Matta' com a média de 0,2700 μmol m⁻² s⁻¹ e as outras combinações obtiveram em média 0,2000 μmol m⁻² s⁻¹. Em Minas Gerais, SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.* (2016) encontraram valores que variaram de 0,105 μmol m⁻² s⁻¹ a 0,221 μmol m⁻² s⁻¹ para esta cultura, além disso, esse parâmetro apresentou variação linear de acordo com a transpiração.

Normalmente a diminuição na condutância estomática ocorre com o aumento do déficit de pressão de vapor em áreas onde a umidade é maior (NAVES-BARBIERO; FRANCO; BUCCI; GOLDSTEIN, 2000; OTTO; VERGANI; GONÇALVES; VRECHI *et al.*, 2013). Na região amazônica, onde a umidade do ar ocorre durante praticamente o ano todo, durante o dia, a condutância estomática responde às mudanças na diferença de pressão de vapor entre a folha e o ar (MARENCO; ANTEZANA-VERA; GOUVÊA; CAMARGO *et al.*, 2014).

Ainda sobre a eficiência fotossintética das combinações cultivadas em Iranduba, foi medida a concentração interna de dióxido de carbono (*C_i*) dentro das folhas das plantas, uma medida da quantidade de CO₂ no mesofilo, onde as células contêm os cloroplastos, encarregados da realização da fotossíntese. (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). A diminuição de CO₂ dentro do mesofilo pode induzir a queda de taxas fotossintéticas devido à redução na concentração de CO₂ para atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco). Mas em um outro cenário, baixas concentrações de carbono também podem estimular a abertura dos estômatos, ocasionando em um influxo de CO₂ para o interior dos estômatos como forma de nivelar o gradiente (SHARMA; KUMAR; SHAHZAD; RAMAKRISHNAN *et al.*,

2020). No que se refere a este parâmetro, todos os tratamentos atingiram média de $257,22 \mu\text{mol mol}^{-1}$. Para limeira ácida 'Tahiti' esses valores são considerados satisfatórios tanto para plantas irrigadas (SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.*, 2016), quanto para cultivos sem irrigação com boa disponibilidade de água (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003). Assim, consonante com as outras variáveis que buscaram elucidar a eficiência fotossintética das combinações através das trocas gasosas, a concentração de carbono interno também indica o bom funcionamento do aparato fotossintético das plantas cultivadas em Iranduba.

É possível avaliar a eficiência no uso da água na escala foliar através da eficiência instantânea do uso da água (*EUA*), uma razão entre a taxa de fotossíntese líquida (*A*) e a taxa de transpiração (*E*), e caracteriza a capacidade de uma planta em realizar a fotossíntese e o crescimento com uma quantidade mínima de água. A *EUA* leva em consideração a transpiração dependente da planta e das condições ambientais, de forma que um mesmo grau de abertura estomática pode ser traduzido em uma taxa de transpiração muito diferente se caso a umidade ambiental variar. (MEDRANO; BOTA; CIFRE; FLEXAS *et al.*, 2007). No estudo realizado em Iranduba, não houve diferença significativa entre as combinações, que atingiram valores maiores ao encontrado por SUASSUNA; FERNANDES; DE BRITO; DO NASCIMENTO *et al.* (2014) $1,5$ a $4,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ e (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003; SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.*, 2016). O aumento de *EUA* normalmente são maximizadas nos meses e horas dos dias com menores temperaturas (SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.*, 2016).

A eficiência intrínseca do uso da água (*EiUA*) é a relação entre a Taxa de assimilação de CO_2 (*A*) e a condutância estomática (*g_{sw}*) e se refere à capacidade da folha para regular a fotossíntese e abertura dos estômatos, e que são independentes das condições atmosféricas no momento da medida (MEDRANO; BOTA; CIFRE; FLEXAS *et al.*, 2007). Em Iranduba, as combinações de copa e porta-enxerto não apresentaram diferenças significativas e também estiveram entre a faixa encontrada por (MACHADO; SCHMIDT; MEDINA; RIBEIRO, 2005). Entretanto, por ser um parâmetro específico da planta, de modo geral é possível inferir que valores de *EiUA* menores para limeira ácida 'Tahiti' indica que essa espécie tende a ser menos

tolerante à seca que as outras espécies como laranjeira 'Valência' e tangor 'Murcote' (SUASSUNA; FERNANDES; DE BRITO; DO NASCIMENTO *et al.*, 2014).

A eficiência intrínseca da carboxilação (A/C_i) representa a eficiência da planta em realizar fotossíntese em função da concentração de CO_2 no mesófilo ou do substrato disponível. Assim, ela também sofre influência de processos fotossintéticos, como a disponibilidade energética dos fotossistemas ou da atividade de enzimas redutoras de oxigênio (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Ao medir a eficiência intrínseca da carboxilação de combinações copa/ porta enxerto, observou-se que houve diferença significativa e a combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obteve a maior média ($0,0556 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$). Em cultivos irrigados, SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.* (2016) encontraram valores que variaram de $0,024$ a $0,0345 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$ para limeira ácida 'Tahiti', valores inferiores ao encontrado em nossos estudos. Em laranjeiras um valor considerado ótimo está em torno de $0,0476 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} / \mu\text{mol mol}^{-1}$ (MATTOS JR; NEGRI; FIGUEIREDO, 2003).

MAGALHÃES FILHO; AMARAL; MACHADO; MEDINA *et al.* (2008) a redução do potencial da água nas plantas sob estresse hídrico contribuiu para baixar a fotossíntese, condutância estomática, transpiração e eficiência de carboxilação instantânea em laranjeiras. Já para SANTOS; DONATO; COELHO; DE MAGALHÃES ARANTES *et al.* (2016) o aumento da eficiência de carboxilação está associada temperaturas mais amenas.

A fluorescência da clorofila pode ser utilizada como ferramenta de diagnóstico para fotossistema II (PSII) como marcador da influência do estresse e do desempenho da planta. Além disso, a fluorescência da clorofila é comumente utilizada em estudos de diversos tipos de estresse para descrever alterações fotossintéticas (CALZADILLA; CARVALHO; GOMEZ; LIMA NETO *et al.*, 2022; GORBE; CALATAYUD, 2012). Incluindo avaliar o status das plantas sob diversos tipos de estresse abiótico (KALAJI; JAJOO; OUKARROUM; BRESTIC *et al.*, 2016)

Ao avaliar a planta, uma das variáveis é a fluorescência mínima clorofila (F_0) medida no estado adaptado ao escuro, quando todos os centros de reação PSII estão abertos. O aumento de F_0 é independente dos eventos fotoquímicos, e mostra a destruição do centro de reação PSII ou a diminuição da capacidade de transferir a energia de excitação da antena para o centro de reação (GORBE; CALATAYUD,

2012). A 'BRS Passos' x 'BRS Donadio' obteve menor média, com 714,0. Valores semelhantes foram encontrados por CRUZ; SIQUEIRA; SALOMÃO e CECOM (2009) ao avaliar a fluorescência da clorofila a em folhas de tangerineira 'Ponkan' e limeira ácida 'Tahiti' submetidas ao estresse hídrico.

A fluorescência máxima inicial (F_m) é a fluorescência medida quando todos os centros de reação fotossintéticos estão abertos e os transportadores de elétrons estão saturados de luz. Este ponto ocorre quando a planta é submetida a uma luz saturante após um período de escuro, permitindo que todos os centros de reação se tornem receptivos à luz. Alterações nos valores de F_m podem indicar estresses ambientais, deficiências nutricionais ou outros problemas que afetam a fotossíntese (GORBE; CALATAYUD, 2012), normalmente através da fotorredução de QA e no fluxo de elétrons entre os fotossistemas (BHAGOOLI; MATTAN-MOORGAWA; KAULLYSING; LOUIS *et al.*, 2021). Para fluorescência máxima da clorofila, não houve diferença significativa e as combinações tiveram em média 249,80 (Figura 10b). Valores semelhantes foram encontrados em limeira ácida 'Tahiti' por (ALTMANN; DE CARVALHO; CAZAROLLI; MASTROBERTI *et al.*, 2022; CRUZ; SIQUEIRA; SALOMÃO; CECOM, 2009).

O rendimento quântico efetivo Φ_{PSII} (F_v/F_m) em plantas é uma medida que avalia a eficiência com que a luz absorvida pelo fotossistema II (PSII) é convertida em energia química durante o processo de fotossíntese. Especificamente, o rendimento quântico efetivo está relacionado à eficiência de conversão da luz absorvida em energia química utilizável para a síntese de carboidratos e outros compostos orgânicos (GORBE; CALATAYUD, 2012). Ao avaliar o rendimento quântico efetivo das combinações em Iranduba-AM, não houve diferença significativa e os tratamentos tiveram em média 0,7792. Ao avaliar o efeito do estresse salino em genótipos de citros, BLEDA; MADRID; GARCÍA-TORRES; GARCÍA-LIDÓN *et al.* (2011) encontraram valores que variaram de 0,81 a 0,69 (controle e alta condição de estresse salino). Entretanto, recentemente um estudo que buscou avaliar diversas espécies de citros em condições de campo - (*Citrus sinensis* L. Osbeck (laranja doce), *Citrus aurantium* L. (laranja amarga), *Citrus reticulata*, Blanco (tangerina) e *Citrus lima* L. Osbeck (limão) – foram encontrados valores de F_v/F_m entre 0,81 (durante o período chuvoso) a 0,50 (durante o período seco). O valor médio interespecífico durante o ano foi de 0,79 (CURADI; MARCHIONI; MANCINO; PISTELLI *et al.*, 2022). Ao avaliar o

crescimento com o uso de hormônio de crescimento em porta enxerto Trifoliata, também foram encontrados valores próximos de 0,8 (ALTMANN; DE CARVALHO; CAZAROLLI; MASTROBERTI *et al.*, 2022).

Dessa forma, os dados para este parâmetro encontrado nas combinações testadas na região amazônica, concordam com achados anteriores, e mostra que a irradiância das condições de campo não prejudicou a fotossíntese, que poderia ter ocorrido devido aos aumentos de dissipação de calor da energia luminosa excessiva no nível PSII e outros processos metabólicos de sumidouro de elétrons, que evitam a fotoinibição sob condições de alta irradiância (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Assim, ao que tudo indica, aparato fotossintético das combinações desse experimento está particularmente adequado para resistir às condições climáticas da região.

Características estruturais e bioquímicas das folhas

Os pigmentos fotossintéticos, como clorofila a clorofila b, carotenoides funcionam como antenas captadoras de luz, permitindo que as plantas absorvam a energia luminosa necessária para a fotossíntese. Durante a fotossíntese, os pigmentos fotossintéticos capturam a energia luminosa e a convertem em energia química, que é usada para sintetizar moléculas orgânicas, como glicose, a partir de dióxido de carbono e água (TAIZ; ZEIGER; MØLLER; MURPHY, 2017). Além de desempenharem um papel fundamental na absorção de luz para a fotossíntese, os pigmentos fotossintéticos também ajudam na dissipação de energia excessiva e na proteção contra danos causados pelo excesso de luz e pelo estresse oxidativo. Por exemplo, os carotenoides agem como antioxidantes e protegem as células contra os efeitos nocivos dos radicais livres gerados pela luz intensa (HASANUZZAMAN, 2020).

Os teores de clorofila a clorofila b, carotenoides e suas relações não diferiram estatisticamente nas combinações testadas em Iranduba. Entretanto, ao comparar esses dados com um estudo realizado por JIA; XU; WANG; YE *et al.* (2021), que buscava avaliar diferenças nas características morfológicas e fisiológicas de mudas cítricas sob deficiência de magnésio (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck, foi observado que os dados encontrados em Iranduba são semelhantes no tratamento controle (com níveis adequados de adubação). HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.* (2018) avaliaram a tolerância à seca em porta-enxertos cítricos e observaram que a diminuição de pigmentos cloroplastídicos está associada a um mecanismo de defesa

antioxidante. O fato de não haver uma atenuação de teor de pigmentos nas folhas das combinações avaliadas sugere que as plantas estavam em boas condições em relação as condições ambientais, visto que o teor de clorofilas e carotenóides tem sido utilizado para avaliar danos causados por estresse em plantas (HASANUZZAMAN, 2020; HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.*, 2018).

Ao avaliar as combinações de copa e porta enxerto nas condições de Iranduba, não houve diferenças significativas nos teores de proteínas totais nas folhas. O teor de proteína é geralmente maior em genótipos tolerantes à seca em comparação com as sensíveis à seca (HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.*, 2018), ou quando expostas a altos níveis de radiação, (HASANUZZAMAN, 2020), deficiência nutricional (MARSCHNER, 2011). Quando plantas cítricas são submetidas a deficiência de boro, é possível verificar a diminuição de proteínas (LU; YANG; LI; XU *et al.*, 2014).

A prolina é um aminoácido que funciona como protetor de plantas sob diversas condições de estresse abiótico. Esse composto protege a integridade das proteínas e aumentar a atividade enzimática no cloroplasto e no citosol, eliminando as espécies reativas de oxigênio e mantendo o equilíbrio redox celular (HASANUZZAMAN, 2020). Em plantas cítricas, o acúmulo de prolina aumenta mais com o aumento do estresse hídrico em genótipos sensíveis em comparação com os tolerantes, o que pode ser devido ao seu papel protetor, com eliminação de radicais, mantendo o equilíbrio redox e reduzindo danos celulares (HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.*, 2018). Para ZANDALINAS; BALFAGÓN; ARBONA e GÓMEZ-CADENAS (2017) o acúmulo de prolina em folhas de citros tem uma estreita relação com a combinação de seca e altas temperaturas e funciona como um metabólito importante na maquinaria antioxidante, evitando o acúmulo de EROs. Sob condições estressantes, a síntese e degradação de prolina apontam para uma estratégia que uma planta utiliza para mitigar o estresse, reduzindo espécies reativas de oxigênio e formando íons H⁺. Isso tem fortemente a influência das atividades enzimáticas responsáveis pela síntese de prolina (1-pirrolina-5-carboxilato sintetase e ornitina-aminotransferase) e nas atividades da enzima degradadora de prolina desidrogenase (HASANUZZAMAN, 2020). Ao avaliar as combinações em Iranduba, não houve alterações nos teores de prolina em função dos diferentes tipos de associação de copa e porta enxerto. Para NOLTE; HANSON e GAGE (1997) teores de até 100 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de prolina são

naturalmente presentes em citros, em razão de processo constitutivo. Mas apesar de não haver na literatura valores específicos para esses teores em limeira ácida 'Tahiti', é importante mencionar que alterações nos teores desse aminoácido se relaciona com a deficiência hídrica em plantas (HASANUZZAMAN, 2020), o que parece não ter ocorrido no momento da avaliação nas condições de Iranduba.

Os metabólitos secundários nas plantas derivados de metabólitos primários, são produzidos devido a várias mudanças fisiológicas e estímulos ambientais e têm efeitos de longo prazo nas plantas sob ambientes em mudança (HASANUZZAMAN, 2020). Atualmente, eles são classificados em três grupos com base em suas vias biossintéticas: (I) compostos contendo nitrogênio, como glicosídeos cianogênicos, alcalóides e glucosinolatos; (II) compostos fenólicos, como flavonóides, e fenilpropanóides; e (III) terpenos como isoprenóides (HASANUZZAMAN, 2020). Ao avaliar as plantas de combinações de copa e porta enxerto em Iranduba, não foi verificado alterações significativas. LU; YANG; LI; XU *et al.* (2014), verificaram que níveis inferiores de boro em citros induzem o aumento dos níveis de compostos fenólicos totais. Nesse trabalho, ao avaliar plantas com deficiência de boro, os pesquisadores observaram decréscimo na fotossíntese e aumento de compostos fenólicos, como uma forma de mecanismo de defesa para contribuir para eliminação de espécies reativas de oxigênio. Essa avaliação é importante pois as plantas ativam diferentes vias de indução de mecanismos de defesa vegetal, aumentando o acúmulo de compostos fenólicos totais e resultando na inibição da oxidação (HUSSAIN; KHALID; SAQIB; AHMAD *et al.*, 2018) como forma se de proteger de condições adversas.

5.5 CONCLUSÃO

Todas as plantas apresentaram Índice SPAD, que indica o regular funcionamento do aparato fotossintético, clorofilas e teor de nitrogênio.

A combinação 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obteve as melhores médias na avaliação dos parâmetros fotossintéticos, mas todas as combinações apresentaram valores adequados dos parâmetros, o que mostra que as combinações testadas foram eficientes em realizar fotossíntese e manter taxas respiratórias adequadas nas condições propostas e a obteve maior. Além disso, todas as combinações apresentaram boas concentração de pigmentos foliares. As análises bioquímicas de proteínas totais, prolina e compostos fenólicos totais demonstram, que as plantas não estavam sob condições estressantes, um indicativo que são adaptadas para o polo citricultor da região Amazonas.

6 CONCLUSÕES GERAIS

As combinações de copa e porta enxerto de plantas cítricas apresentam boa aclimatação a condições de clima na região próxima de Manaus.

Apesar de valores inadequados para determinados nutrientes foliares, os bons índices de crescimento vegetativo foram suportados pelas altas taxas de fotossíntese, bons índices de fluorescência da clorofila a e marcadores bioquímicos de estresse nas plantas em campo. Isso indica a necessidade de um ajuste mais fino para a demanda por nutrientes para essas plantas.

Todas as plantas apresentaram valores adequados de parâmetros fotossintéticos e compostos bioquímicos, mas a 'BRS Passos' x 'BRS Matta' obteve os melhores resultados.

O comportamento ecofisiológico das plantas em campo demonstraram que as combinações corroboram com os índices vegetativos. Desse modo, as características fisiológicas e desenvolvimento inicial das combinações de enxerto e porta-enxerto, é possível inferir que todas apresentaram respostas satisfatórias de adaptação às condições edafoclimáticas da região.

REFERÊNCIAS

ADEPARA. **Agência de Defesa Agropecuária do Pará - Ações da Adepará garantem qualidade do limão Tahiti de Monte Alegre.** 2021. Disponível em: <http://www.adepara.pa.gov.br/artigos/a%C3%A7%C3%B5es-da-adepar%C3%A1-garantem-qualidade-do-lim%C3%A3o-thaiti-de-monte-alegre>.

AL-TAMIMI, H. M. A.; ALI, A. A.; KADHIM, Z. K.; SHATTI, R. H. Effect of foliar spraying with grow more and scott on improving some vegetative and root growth characteristics of citrus seedlings Swingle citrumelo. **Biochemical and Cellular Archives**, 20, p. 4201-4205, 2020.

ALTMANN, T.; DE CARVALHO, J. D. T.; CAZAROLLI, J. C.; MASTROBERTI, A. A. *et al.* Presence of leaves and use of IBA in adventitious rooting, chlorophyll fluorescence, and root ontogeny of 'Fepagro C 13' and 'Trifoliata' cuttings **Semina ciênc. agrar**, p. 2171-2188, 2022.

ASTHA, V. B.; NARAYAN, S.; NARAYAN, R.; KHAN, F. Dwarfism in fruits crops: A way to produce new canopy architecture. 2022.

BALFAGÓN, D.; RAMBLA, J. L.; GRANELL, A.; ARBONA, V. *et al.* Grafting improves tolerance to combined drought and heat stresses by modifying metabolism in citrus scion. **Environmental and Experimental Botany**, 195, p. 104793, 2022/03/01/ 2022.

BARNETT, V.; LEWIS, T. Outliers in statistical data. 1978. **John Wiley & Sons**, 286, p. 293.

BATES, L. S.; WALDREN, R. P.; TEARE, I. D. Rapid determination of free proline for water-stress studies. **Plant and soil**, 39, n. 1, p. 205-207, 1973.

BHAGOOI, R.; MATTAN-MOORGAWA, S.; KAULLYSING, D.; LOUIS, Y. D. *et al.* Chlorophyll fluorescence – A tool to assess photosynthetic performance and stress

photophysiology in symbiotic marine invertebrates and seaplants. **Marine Pollution Bulletin**, 165, p. 112059, 2021/04/01/ 2021.

BLEDA, F. J.; MADRID, R.; GARCÍA-TORRES, A. L.; GARCÍA-LIDÓN, Á. *et al.* Chlorophyll fluorescence and mineral nutrition in citrus leaves under salinity stress. **Journal of plant nutrition**, 34, n. 11, p. 1579-1592, 2011.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical biochemistry**, 72, n. 1-2, p. 248-254, 1976.

BRITO, M. E.; SOARES, L. A. d. A.; FERNANDES, P. D.; DE LIMA, G. S. *et al.* Comportamento fisiológico de combinações copa/porta-enxerto de citros sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7, n. suplemento, p. 857-865, 2012.

BUAINAIN, A.; FAVARETO, A.; CONTINI, E.; CHAVES, F. *et al.* Desafios para agricultura nos biomas brasileiros. 2020.

CALLEJA-CABRERA, J.; BOTER, M.; OÑATE-SÁNCHEZ, L.; PERNAS, M. Root growth adaptation to climate change in crops. **Frontiers in Plant Science**, 11, p. 544, 2020.

CALZADILLA, P. I.; CARVALHO, F. E. L.; GOMEZ, R.; LIMA NETO, M. C. *et al.* Assessing photosynthesis in plant systems: A cornerstone to aid in the selection of resistant and productive crops. **Environmental and Experimental Botany**, 201, p. 104950, 2022/09/01/ 2022.

CARMO MILAGRES, C. d.; FONTES, P. C. R.; SILVEIRA, M. V. d.; MOREIRA, M. A. *et al.* Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. **Revista Ceres**, 65, n. 3, p. 261-270, 2018.

CECCARELLI, S. Adaptation to low/high input cultivation. **Euphytica**, 92, p. 203-214, 1996.

COUTINHO, L. **Biomass brasileiros**. Oficina de Textos, 2016. 8579752558.

CRUZ, M. d. C. M. d.; SIQUEIRA, D. L. d.; SALOMÃO, L. C. C.; CECON, P. R. Fluorescência da clorofila a em folhas de tangerineira'Ponkan'e limeira ácida'Tahiti'submetidas ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Fruticultura**, 31, p. 896-901, 2009.

CURADI, M.; MARCHIONI, I.; MANCINO, M.; PISTELLI, L. *et al.* Physiological and biochemical adaptive traits in leaves of four citrus species grown in an Italian charterhouse. **Horticulturae**, 8, n. 4, p. 324, 2022.

DALASTRA, G. M.; ECHER, M. d. M.; GUIMARÃES, V. F.; HACHMANN, T. L. *et al.* Trocas gasosas e produtividade de três cultivares de meloeiro conduzidas com um e dois frutos por planta. **Bragantia**, 73, p. 365-371, 2014.

ESTEBAN, R.; BARRUTIA, O.; ARTETXE, U.; FERNÁNDEZ-MARÍN, B. *et al.* Internal and external factors affecting photosynthetic pigment composition in plants: a meta-analytical approach. **New Phytologist**, 206, n. 1, p. 268-280, 2015.

GORBE, E.; CALATAYUD, A. Applications of chlorophyll fluorescence imaging technique in horticultural research: A review. **Scientia Horticulturae**, 138, p. 24-35, 2012/05/01/ 2012.

HASANUZZAMAN, M. **Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses**. Springer Nature, 2020. 9811521565.

HAWKINS, T. S.; GARDINER, E. S.; COMER, G. S. Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research. **Journal for Nature Conservation**, 17, n. 2, p. 123-127, 2009/05/01/ 2009.

HENDRY, G.; PRICE, A. **Stress indicators: chlorophylls and carotenoids**. 1993.

HUSSAIN, S.; KHALID, M. F.; SAQIB, M.; AHMAD, S. *et al.* Drought tolerance in citrus rootstocks is associated with better antioxidant defense mechanism. **Acta Physiologiae Plantarum**, 40, n. 8, p. 1-10, 2018.

IBGE. Cidades e Estados: Amazonas. 2022a.

IBGE. Produção Agrícola Municipal. 2022b.

JIA, Y.; XU, H.; WANG, Y.; YE, X. *et al.* Differences in morphological and physiological features of *Citrus* seedlings are related to Mg transport from the parent to branch organs. **BMC Plant Biology**, 21, n. 1, p. 239, 2021/05/27 2021.

JOVER, S.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; LEGAZ, F. *et al.* Influence of rootstocks on photosynthesis in Navel orange leaves: effects on growth, yield, and carbohydrate distribution. **Crop science**, 52, n. 2, p. 836-848, 2012.

KALAJI, H. M.; JAJOO, A.; OUKARROUM, A.; BRESTIC, M. *et al.* Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. **Acta physiologiae plantarum**, 38, p. 1-11, 2016.

KRAMER, D. M.; AVENSON, T. J.; EDWARDS, G. E. Dynamic flexibility in the light reactions of photosynthesis governed by both electron and proton transfer reactions. **Trends in plant science**, 9, n. 7, p. 349-357, 2004.

LEVENE, H. Contributions to probability and statistics. **Essays in honor of Harold Hotelling**, p. 278-292, 1960.

LU, Y.-B.; YANG, L.-T.; LI, Y.; XU, J. *et al.* Effects of boron deficiency on major metabolites, key enzymes and gas exchange in leaves and roots of *Citrus sinensis* seedlings. **Tree Physiology**, 34, n. 6, p. 608-618, 2014.

MACHADO, E. C.; SCHMIDT, P. T.; MEDINA, C. L.; RIBEIRO, R. V. Respostas da fotossíntese de três espécies de citros a fatores ambientais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 40, p. 1161-1170, 2005.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R. d.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L. *et al.* Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja 'Valência' sobre dois tipos de porta-enxertos. **Bragantia**, 67, p. 75-82, 2008.

MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S. A.; GOUVÊA, P. R. d. S.; CAMARGO, M. A. B. *et al.* Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, 61, p. 786-799, 2014.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011. 0123849063.

MATTOS JR, D.; NEGRI, J. d.; FIGUEIREDO, J. d. **Lima ácida Tahiti**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2003 2003. (Lima ácida Tahiti.

MEDRANO, H.; BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J. *et al.* Eficiencia en el uso del agua por las plantas. **Investigaciones geográficas (Esp)**, n. 43, p. 63-84, 2007.

MEHRABI, F.; SEPASKHAH, A. R. Leaf nitrogen, based on SPAD chlorophyll reading can determine agronomic parameters of winter wheat. **International Journal of Plant Production**, p. 1-15, 2022.

MISHRA, A. A.; BAHADUR, V.; DAWSON, J.; THOMAS, T. *et al.*, 2021, **Effect of different micronutrient combinations on plant growth and plant establishment of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) cv.** 212-219.

MOUSTAKA, J.; MOUSTAKAS, M. Early-stage detection of biotic and abiotic stress on plants by chlorophyll fluorescence imaging analysis. **Biosensors**, 13, n. 8, p. 796, 2023.

NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, 12, p. 119-134, 2000.

NETTO, A. T.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J. G. d.; BRESSAN-SMITH, R. E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. **Scientia Horticulturae**, 104, n. 2, p. 199-209, 2005/03/30/ 2005.

NOLTE, K. D.; HANSON, A. D.; GAGE, D. A. Proline accumulation and methylation to proline betaine in Citrus: implications for genetic engineering of stress resistance. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, 122, n. 1, p. 8-13, 1997.

OTTO, M. S. G.; VERGANI, A. R.; GONÇALVES, A. N.; VRECHI, A. *et al.* Fotossíntese, condutância estomática e produtividade de clones de Eucalyptus sob diferentes condições edafoclimáticas. **Revista Árvore**, 37, p. 431-439, 2013.

PINTO, J. V. d. N.; COSTA, D. L.; COSTA, A. P. d. S.; PIRES, M. P. *et al.* Produtividade e trocas gasosas do limão Tahiti em diferentes lâminas de irrigação na Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 27, p. 463-471, 2023.

PREVIDELI, F. D.; ALMEIDA, M. M. Y. O Mercado “*In Natura*” do Limão Tahiti. **Revista Interface Tecnológica**, 17, n. 1, p. 409-416, 2020.

RAZA, A.; ASHRAF, F.; ZOU, X.; ZHANG, X. *et al.* Plant adaptation and tolerance to environmental stresses: mechanisms and perspectives. **Plant Ecophysiology and Adaptation under Climate Change: Mechanisms and Perspectives I: General Consequences and Plant Responses**, p. 117-145, 2020.

RIBEIRO, R. V.; MACHADO, E. C. Some aspects of citrus ecophysiology in subtropical climates: re-visiting photosynthesis under natural conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 19, p. 393-411, 2007.

SANTOS JR, U. M.; CARVALHO GONÇALVES, J. F.; FELDPAUSCH, T. R. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in central Amazonia. **Forest ecology and management**, 226, n. 1-3, p. 299-309, 2006.

SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; COELHO, E. F.; DE MAGALHÃES ARANTES, A. *et al.* Irrigação lateralmente alternada em lima ácida'Tahiti'na região norte de Minas Gerais. **Irriga**, 1, n. 01, p. 71-71, 2016.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SHARMA, A.; KUMAR, V.; SHAHZAD, B.; RAMAKRISHNAN, M. *et al.* Photosynthetic Response of Plants Under Different Abiotic Stresses: A Review. **Journal of Plant Growth Regulation**, 39, n. 2, p. 509-531, 2020/06/01 2020.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. d. M.; AMORIM NETO, M. d. S. Análise do crescimento de comunidades vegetais. **Embrapa Algodão-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2000.

SILVA, L. d. A.; BRITO, M. E.; SÁ, F. V. d. S.; MOREIRA, R. C. *et al.* Mecanismos fisiológicos em híbridos de citros sob estresse salino em cultivo hidropônico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18, p. 1-7, 2014.

SILVA, S. F.; MIRANDA, M. T.; CUNHA, C. P.; DOMINGUES-JR, A. P. *et al.* Metabolic profiling of drought tolerance: Revealing how citrus rootstocks modulate plant metabolism under varying water availability. **Environmental and Experimental Botany**, 206, p. 105169, 2023/02/01/ 2023.

SIMKIN, A. J.; KAPOOR, L.; DOSS, C. G. P.; HOFMANN, T. A. *et al.* The role of photosynthesis related pigments in light harvesting, photoprotection and enhancement of photosynthetic yield in planta. **Photosynthesis Research**, 152, n. 1, p. 23-42, 2022.

STUCHI, E. S.; GIRARDI, E. A.; SEMPIONATO, O. R.; REIFF, E. T. *et al.* 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. *et al.* Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta-enxertos de citros submetidos à restrição hídrica. **Irriga**, 19, n. 3, p. 464-477, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora, 2017. 8582713673.

WANG, T.; DENG, L.; HUANG, S.; XIONG, B. *et al.* Genetic Relationship, SPAD Reading, and Soluble Sugar Content as Indices for Evaluating the Graft Compatibility of Citrus Interstocks. **Biology**, 11, n. 11, p. 1639, 2022.

WATERHOUSE, A. Polyphenolics: Determination of total phenolics In: Wrolstad, RE *Currente protocols in food analytical chemistry*. **New York: Journal Wiley**, p. 11-18, 2002.

XIONG, D.; CHEN, J.; YU, T.; GAO, W. *et al.* SPAD-based leaf nitrogen estimation is impacted by environmental factors and crop leaf characteristics. **Scientific reports**, 5, n. 1, p. 13389, 2015.

ZANDALINAS, S. I.; BALFAGÓN, D.; ARBONA, V.; GÓMEZ-CADENAS, A. Modulation of antioxidant defense system is associated with combined drought and heat stress tolerance in citrus. **Frontiers in Plant Science**, 8, p. 953, 2017.

ZSÖGÖN, A.; PERES, L. E.; XIAO, Y.; YAN, J. *et al.* Enhancing crop diversity for food security in the face of climate uncertainty. **The Plant Journal**, 109, n. 2, p. 402-414, 2022.