



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**



**GUSTAVO AFONSO LADEIRA IQUE**

**RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE LIMA ÁCIDA TAHITI  
CULTIVADA SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO**

**ARARAS - 2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**CURSO DE ENGENHARIA AGRONÔMICA**



**GUSTAVO AFONSO LADEIRA IQUE**

**RENDIMENTO DE ÓLEO ESSENCIAL DE LIMA ÁCIDA TAHITI**  
**CULTIVADA SOB DIFERENTES MANEJOS DE SOLO**

Monografia apresentada ao Curso de  
Engenharia Agrônômica – CCA – UFSCar para  
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Patrícia Marluci da Conceição

**ARARAS – 2025**

**Dedico este trabalho à minha querida avó Cristina Tiago Ladeira (*in memoriam*), cuja sabedoria, amor e exemplo de força sempre iluminaram meu caminho. Mesmo ausente fisicamente, sua presença foi constante em cada momento desta jornada, me inspirando a nunca desistir dos meus sonhos. Serei eternamente grato por todos os ensinamentos e pelo carinho incondicional que marcaram minha vida. Que esta conquista seja também sua, vó, com todo o amor e saudade.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me guia e me protege sempre.

Aos meus pais, Natalia Rosângela Ladeira e Vicente Ique, e a toda minha família que sempre estiveram ao meu lado, acreditando no meu potencial.

Agradeço a Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade em cursar Engenharia Agrônoma.

Agradeço ao Dr. Fernando Alves de Azedo e ao Centro de Citricultura Sylvio Moreira (IAC) pela confiança, pela oportunidade de estágio e pelo enriquecimento profissional.

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa concedida.

Ao Grupo de Desenvolvimento em Citros (GD Citros) e a todos os companheiros de jornada que compartilharam comigo esses anos de trabalho.

Agradeço a Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Patrícia Marluci da Conceição por sua orientação, dedicação e valiosos ensinamentos ao longo desta monografia.

Agradeço a minha coorientadora Dr<sup>a</sup>. Ana Júlia Borim de Souza, por sua paciência, dedicação exemplar, sabedoria e incentivo, que foram essenciais.

Agradeço a gloriosa república Toca, meu lar e escola da vida, onde aprendi a crescer, enfrentar desafios e valorizar cada momento, ganhando irmãos para a vida toda.

Aos meus amigos, Guilherme Guizi Oliveira, João Victor Urbano, Rafaela Camargo Baggio e Pedro Henrique Barrio Padilha que, desde o começo, estiveram ao meu lado, compartilhando momentos inesquecíveis e tornando essa jornada única.

A minha namorada Julia Rosa Pereira, que me acompanhou em todo esse percurso, com todo carinho, companheirismo e amor.

**“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos  
não é senão uma gota de água no mar. Mas o  
mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”**

**(Madre Teresa de Calcutá)**

## RESUMO

A citricultura desempenha um papel importante na economia agrícola do Brasil. Dos frutos cítricos, além do consumo *in natura* e industrialização do suco, podem-se extrair óleos essenciais (OEs), compostos valorizados pelas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Objetivou-se com este trabalho quantificar o OE extraído da casca de frutos de lima ácida Tahiti colhidos de plantas em diferentes combinações copa e porta-enxerto, conduzidas em diferentes manejos do solo. O experimento foi conduzido no Centro de Citricultura “Sylvio Moreira” (CCSM) do Instituto Agrônomo (IAC). Nas entrelinhas do pomar foi semeado a *Urochloa ruziziensis* e posteriormente foram plantadas mudas de lima ácida Tahiti. O ensaio foi instalado em delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Foram avaliados dois tipos de manejo de solo: convencional (sem cobertura morta na linha de citros) e ecológico (cobertura morta na linha de citros). Foram testadas três copas: lima ácida Tahiti IAC 5, lima ácida Tahiti IAC 10, lima ácida Tahiti BRS IAC EECB Ponta-Firme enxertadas em dois porta-enxertos: citrandarin IAC 3152 “Itajobi” e trifoliata IAC 718 Flying Dragon. Foi avaliado o potencial hídrico nas folhas, produtividade, porcentagem de casca, rendimento do óleo por massa de casca de fruto, rendimento do óleo por tonelada de fruto e rendimento do óleo por área. Os resultados demonstraram que o manejo ecológico proporcionou maior potencial hídrico nas folhas e produtividade dos frutos, indicando benefícios na retenção de água e na estruturação do solo. No entanto, o manejo convencional favoreceu um maior rendimento de OE por tonelada de fruto, provavelmente devido ao estresse hídrico, que pode estimular a biossíntese de metabólitos secundários. Entre as combinações copa x porta-enxerto avaliadas, plantas enxertadas no porta-enxerto citrandarin IAC 3152 “Itajobi” mostraram maior tolerância à seca e melhor resposta produtiva sob manejo ecológico. Conclui-se que o manejo convencional aumenta o rendimento do óleo por massa de casca de fruto e o rendimento do óleo por tonelada de fruto. No entanto, a quantidade de fruto disponível para extração de óleo no manejo ecológico, é maior que no convencional (maior produtividade) proporcionando maior rendimento de OEs por área.

**Palavras-chave:** roçadora, ecológica, convencional, *Urochloa ruziziensis*, rendimento.

## ABSTRACT

Citriculture plays an important role in Brazil's agricultural economy. Besides fresh consumption and juice industrialization, citrus fruits yield essential oils (EOs), valued by the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. This study aimed to quantify the EO extracted from the peel of Tahiti acid lime fruits harvested from plants under different scion and rootstock combinations, cultivated under distinct soil management practices. The experiment was conducted at the Centro de Citricultura "Sylvio Moreira" (CCSM) of the Instituto Agronômico (IAC). *Urochloa ruziziensis* was sown between orchard rows, followed by the planting of Tahiti acid lime seedlings. The trial was arranged in a randomized block design with split plots and four replications. Two soil management systems were evaluated: conventional (no mulch in the citrus row) and ecological (mulch in the citrus row). Three scions were tested: Tahiti acid lime IAC 5, Tahiti acid lime IAC 10, and Tahiti acid lime BRS IAC EECB Ponta-Firme, grafted onto two rootstocks: citrandarin IAC 3152 "Itajobi" and trifoliolate orange IAC 718 Flying Dragon. Evaluations included leaf water potential, fruit yield, peel percentage, oil yield per fruit peel mass, oil yield per ton of fruit, and oil yield per area. Results showed that ecological management led to higher leaf water potential and fruit productivity, indicating benefits in water retention and soil structuring. However, conventional management resulted in higher EO yield per ton of fruit, likely due to water stress, which may stimulate the biosynthesis of secondary metabolites. Among the evaluated scion × rootstock combinations, plants grafted onto citrandarin IAC 3152 "Itajobi" exhibited greater drought tolerance and better productive performance under ecological management. It is concluded that conventional management increases oil yield per fruit peel mass and oil yield per ton of fruit. However, the greater fruit availability for oil extraction in ecological management (higher productivity) results in a higher EO yield per area.

**Keywords:** mower, ecological, conventional, *Urochloa ruziziensis*, yield.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Campo experimental com plantas de lima ácida Tahiti sob os dois manejos de roçagem das entrelinhas. A) Manejo ecológico (com a utilização da roçadora ecológica que distribui a cobertura morta na linha). B) Manejo convencional (com a utilização da roçadora convencional, sem cobertura morta na linha) (Cordeirópolis, SP). .....20
- Figura 2. Hidrodestilação do óleo essencial de lima ácida Tahiti. A) Aparelho de Clevenger modificado. B) óleo essencial de lima ácida Tahiti após destilação. ...22
- Figura 3. Potencial hídrico foliar (MPa) das folhas coletadas das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Inverno 2023. ....24
- Figura 4. Produtividade por área ( $t\ ha^{-1}$ ) das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Safra 2024. ....26
- Figura 5. Porcentagem de casca dos frutos colhidos de plantas nas combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024. ....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6. Rendimento do óleo por massa da casca de fruto das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024. .28
- Figura 7. Rendimento do óleo essencial por tonelada de fruto das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024. .29
- Figura 8. Rendimento do óleo essencial por hectare das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024. ....31

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>11</b>
2.1. Lima ácida Tahiti .....	11
2.2. Porta-enxertos .....	13
2.3. Óleo essencial .....	15
2.4. Manejo do solo .....	17
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
3.1. Objetivo geral .....	19
3.2. Objetivos específicos .....	19
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
4.1. Material vegetal e delineamento experimental .....	19
4.2. Potencial hídrico nas folhas .....	21
4.3. Produtividade .....	21
4.4. Extração de óleo essencial .....	21
4.4.1. Porcentagem de casca (%) .....	22
4.4.2. Rendimento do óleo por massa de casca de fruto .....	22
4.4.3. Rendimento do óleo por tonelada de fruto .....	23
4.4.4. Rendimento do óleo por área .....	23
4.5. Análises estatísticas .....	23
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>24</b>
5.1. Potencial hídrico nas folhas .....	24
5.2. Produtividade .....	25
5.3. Porcentagem de casca (%) .....	27
5.4. Rendimento do óleo por massa de casca de fruto .....	28
5.5. Rendimento do óleo por tonelada de fruto .....	29
5.6. Rendimento do óleo por área .....	31
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>32</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>33</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>41</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, em 2023, foi o sexto maior produtor mundial de limas e limões, precedido pela Índia, México, China, Turquia e Argentina (FAO, 2024). A área com limas e limões no mundo, em 2023, compreendeu 1,3 milhões de hectares (ha), com uma produção de 23,6 milhões de toneladas. O Brasil, no mesmo ano, teve uma área de produção de 66,3 mil ha, com uma produção de 1,7 milhões de toneladas (FAO, 2024). Desses valores, aproximadamente 90% correspondem à produção de lima ácida, sendo que o estado de São Paulo concentra cerca de 75% dessa produção nacional (CCSM, 2022).

A relevância da produção de lima ácida Tahiti no Brasil, somada ao crescimento expressivo da área cultivada e da produção nos últimos anos, destaca a importância de práticas agrícolas eficazes para manter a competitividade no mercado interno e de exportação (DIANA et al., 2020). Por ser perene, as plantas de Tahiti podem ser severamente afetadas ao longo dos anos por estresses ambientais como salinidade, temperaturas extremas e seca (VIVES-PERIS; GÓMEZ-CADENAS; PÉREZ-CLEMENTE, 2017). Além disso, fatores bióticos como competição com plantas daninhas, alelopatia e ataques de pragas, incluindo o psíldeo *Diaphorina citri*, vetor do *Huanglongbing* (HLB), bem como doenças como a gomose (*Phytophthora spp.*) e o cancro cítrico (*Xanthomonas citri*), também impactam negativamente a produtividade dos pomares (NEVES et al., 2021). Assim, os fatores que influenciam a produtividade dos pomares e o manejo para superá-los são cada vez mais estudados.

Uma prática agrícola alternativa ao manejo convencional do solo é o manejo ecológico. No manejo ecológico busca-se minimizar a degradação do solo utilizando plantas de cobertura vegetal na entrelinha do pomar e a roçadora ecológica que distribui a fitomassa da entrelinha sob as copas das plantas (CORÁ et al., 2005), criando uma camada de *mulching* na linha de plantio melhorando a infiltração da água no solo (FIDALSKI et al., 2010), porosidade, ciclagem de nutrientes e controle de plantas daninhas (AZEVEDO et al., 2013). Assim, essa prática contribui para a descompactação do solo (AZEVEDO et al., 2014), diminuição do risco de erosão, preservação da estrutura física e biológica do solo e manutenção do teor de água no solo (AZEVEDO et al., 2020).

Além de estudos com o manejo dos pomares cítricos, há trabalhos na literatura buscando tornar a citricultura ainda mais rentável, visto que uma porção significativa

dos frutos de citros, cerca de 40-60%, não é comestível sendo considerada resíduo (MAHATO, 2021). Uma alternativa viável, cada vez mais implementada na citricultura é a destinação desses resíduos para a produção de subprodutos como pectina, bioativos antioxidantes, rações para alimentação animal e óleos essenciais (OEs) (BAGETTA et al., 2010).

Os OEs são compostos líquidos e complexos formados a partir do metabolismo secundário das plantas e que podem ser obtidos da casca do fruto por hidrodestilação, processo de prensagem a frio ou arraste a vapor (NAVARRETE et al., 2011). O óleo cítrico é um dos mais utilizados como flavorizante natural, frequentemente usado na indústria alimentícia para fabricação de produtos como bebidas alcoólicas e refrigerantes. Pode ser utilizado em perfumaria, indústria farmacêutica e da química fina, além de apresentarem bons resultados com ação inseticida, bactericida e fungicidas (SILVESTRE; PAULETTI, 2018).

O Brasil representa um papel importante no mercado global de OEs, sendo o maior em quantidade e o quinto em valores exportados (BIZZO, 2022). Portanto, selecionar a melhor forma de manejar um pomar cítrico é de alta valia para a economia brasileira, uma vez que beneficia não só a produção de frutos, mas também seus subprodutos, que têm ganhado cada vez mais espaço no mercado mundial. O presente trabalho contribui para um avanço nos estudos de OEs de lima ácida Tahiti, apresentando novas alternativas para elevar o seu rendimento no campo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Lima ácida Tahiti

Os citros englobam um grupo de plantas do gênero *Citrus*, *Fortunella* e *Poncirus*, abrangendo frutos de relevância comercial como tangerinas (*Citrus reticulata* e *Citrus deliciosa*), laranjas (*Citrus x sinensis*), limões (*Citrus x limon*), limas ácidas como o Tahiti (*Citrus x latifolia*) e o Galego (*Citrus x aurantiifolia*), limas doces como a lima da Pérsia (*Citrus limettioides*), pomelos (*Citrus x paradisi*), cidras (*C. medica*), laranja-azedada (*Citrus x aurantium*) e toranjas (*Citrus maxima*) (LOPES et al., 2011). Originado na região do sudeste da Ásia, o gênero *Citrus* sofreu uma rápida dispersão de suas espécies, coincidindo com uma transição climática de condições úmidas para um ambiente mais seco. Durante esse processo de dispersão houve a formação de diversas espécies híbridas (WU et al., 2018). Entre essas espécies, é

cultivada extensivamente no Brasil, a lima ácida Tahiti, valorizada pelo mercado de frutas frescas, sucos e alimentos processados tanto pelo sabor característico com alto teor de acidez quanto pelo elevado conteúdo de vitamina C (BRITO et al., 2017).

A lima ácida Tahiti, popularmente chamada de limão Tahiti, pertence à família Rutaceae, subfamília Aurantioideae, tribo Citreae e subtribo Citrineae (LUCHETTI et al. citado por BRAZ, 2007). Apesar de conhecida por limão Tahiti, não é um limão, mas sim uma lima, conforme suas características e classificação botânica (COELHO et al., 1998). Possivelmente resultada de um cruzamento entre uma lima ácida com semente e uma cidra ou limão verdadeiro conforme descrito por Reece e Childs (1962). Introduzida no Brasil no século XVII, veio do Mediterrâneo e se adaptou bem ao clima, possibilitando seu cultivo nas regiões Sudeste, hoje a maior produtora do país, seguido do Nordeste. Após sua chegada, a lima ácida Tahiti ganhou rápida popularidade, que impulsionou o desenvolvimento nacional através da geração empregos devido à sua produção contínua ao longo do ano, voltada tanto ao mercado interno quanto à exportação, destacando-se Estados Unidos e países da União Europeia (NEVES et al., 2010).

No Brasil, em 2022, a região Sudeste foi responsável por 68% da área nacional de Tahiti e representou 82% do volume total da produção com produtividade de 31 t ha<sup>-1</sup>. Dados superiores à região Nordeste, que ocupou o segundo lugar em área cultivada, com 17% da área e 7% da produção, com produtividade de 11 t ha<sup>-1</sup>. Em relação aos estados do país, São Paulo lidera com 57% da área e 73% da produção, alcançando 33,49 t ha<sup>-1</sup>, seguido por Pará (22,56 t ha<sup>-1</sup>) e Minas Gerais (20,81 t ha<sup>-1</sup>). Entre 2013 e 2022, São Paulo registrou aumentos expressivos na área plantada (56%) e na produção (55%) (IBGE, 2024).

A lima ácida Tahiti é amplamente usada na indústria de alimentos e bebidas por sua alta concentração de suco. Por ser uma espécie triplóide, cujos pólen e óvulos não são viáveis, produz frutos sem sementes, uma característica conhecida como partenocarpia, o que aumenta sua aceitação no mercado de frutas *in natura* e facilita o processamento (PINTO, 2004).

A lima ácida Tahiti tem características morfológicas específicas, com frutos de tamanho médio, peso aproximado de 100 g, sucoso, ovalado e com sabor ácido. Sua casca é lisa, com verde intenso e uniforme. Se destaca por ser um fruto rico em vitaminas e OE. A planta é de porte médio a grande, com crescimento vigoroso e rápido, além de possuir poucos ou nenhum espinho, facilitando o manejo. Suas folhas

são densas, verde-escuras e de tamanho médio, enquanto as flores brancas, com cinco pétalas, também são de tamanho médio (COELHO et al., 1998; RAMOS, 2010). Sua fenologia permite floração e frutificação contínuas, sendo influenciada por água e temperatura, com o florescimento induzido por estresse hídrico ou temperaturas mais baixas, que estimulam a diferenciação das gemas floríferas (AMARAL, 2018). A forma e o tamanho da copa variam com o porta-enxerto, influenciando na produção e qualidade dos frutos (BETTINI, 2019).

## 2.2. Porta-enxertos

Porta-enxerto é a base de uma planta sobre a qual outra parte, chamada copa, é enxertada (HARTMANN et al., 2002), prática consolidada na fruticultura. Na citricultura, a enxertia combina as melhores características de duas plantas, maximizando a eficiência no manejo. Na propagação dos porta-enxertos utilizam-se sementes, que são poliembriônicas e apomíticas. Com a seleção das plântulas provenientes do desenvolvimento dos embriões nucelares, obtém-se clones idênticos à planta mãe, preservando características genéticas desejáveis, como vigor, resistência a doenças, uniformidade e precocidade (MENDES, 2016).

A escolha de um porta-enxerto adequado é uma etapa crítica para garantir a longevidade e produtividade dos pomares, permitindo uma produção sustentável mesmo em situações adversas (FERNANDES et al., 2011). A propagação da copa frequentemente é realizada através da enxertia por borbulhia em corte "T" invertido, que promove características superiores, como maior qualidade dos frutos (OLIVEIRA et al., 2008).

A citricultura no Brasil evoluiu com a adoção de diferentes porta-enxertos conforme surgiam novos obstáculos. Inicialmente, usava-se a laranjeira doce, mas sua suscetibilidade à seca e à gomose levou à substituição pela laranja azeda (SCHÄFER et al., 2001). No entanto, com a chegada do vírus *Citrus tristeza vírus* (CTV) em 1937, a citricultura sofreu grandes perdas devido à ampla variabilidade genética do CTV, que dificultou o manejo da doença (BARBOSA; RODRIGUES, 2014). Assim, a enxertia em laranja azeda tornou-se inviável e o limão Cravo (*Citrus x limonia*) passou a ser utilizado (SOUZA; MÜLLER, 2006), rapidamente se consolidando na citricultura brasileira e internacional devido à sua tolerância ao CTV, associado ao elevado vigor e capacidade de promover plantas altamente produtivas. Contudo, suas limitações incluem suscetibilidade à morte súbita dos citros e

dificuldade no manejo do pomar devido ao crescimento vigoroso (POMPEU JUNIOR, 2005).

O Citrumelo Swingle (*Poncirus trifoliata* × *Citrus paradisi*) se tornou uma escolha popular entre os porta-enxertos devido à sua resistência ao *Phytophthora spp.* e à boa adaptação a solos arenosos. No entanto, seu uso é limitado em solos alcalinos e em áreas infestadas por nematoides, fatores que podem comprometer o desenvolvimento das plantas. Da mesma forma, as trifoliatas (*Poncirus trifoliata*) e seus híbridos ganharam destaque na citricultura brasileira, principalmente por sua resistência ao CTV e ao *Phytophthora spp.*. Além disso, esses porta-enxertos favorecem a produção de frutos com alta qualidade, o que os torna ainda mais atrativos para o setor (POMPEU JUNIOR, 2014).

A tangerina Sunki (*Citrus sunki*) também vem se destacando como uma alternativa viável para pomares que enfrentam condições de seca, pois apresenta boa tolerância ao estresse hídrico e promove produtividade satisfatória. No entanto, sua suscetibilidade ao *Phytophthora spp.* pode ser um desafio em regiões onde esse patógeno é frequente, exigindo maior atenção no manejo fitossanitário. Por outro lado, a tangerina Cleópatra (*Citrus reshni*) se diferencia por sua rusticidade e capacidade de adaptação a solos mais pobres, sendo uma opção interessante para ambientes com menor disponibilidade de nutrientes. Sua utilização também se expandiu em programas de melhoramento genético, graças às características desejáveis que transmite aos híbridos. Apesar dessas vantagens, seu crescimento vigoroso pode representar um obstáculo em pomares de alta densidade, tornando o manejo mais complexo e exigindo podas mais frequentes (BREMER NETO et al., 2015).

Visando maior produtividade, o adensamento dos pomares de citros com o uso de porta-enxertos ananizantes têm se tornado mais comum. Essa prática consiste no plantio de um maior número de árvores por hectare, utilizando porta-enxertos específicos que limitam o tamanho das plantas e permitem o cultivo em espaçamentos menores sem que ocorra sobreposição de copas. Além disso, o menor porte das plantas facilita a adoção de práticas agrícolas, como poda, pulverização e colheita, tornando o manejo mais eficiente, e também otimiza o uso de insumos como na irrigação e uso sustentável de água, que reduz custos com manutenção e minimiza o impacto de eventuais falhas no pomar, já que a perda de uma planta se torna menos perceptível em um sistema mais denso (EMBRAPA, 2024).

O porta-enxerto trifoliata Flying Dragon [*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* (T.

Itô) Swingle], resultante de uma provável mutação de *P. trifoliata*, é considerado ananicante (HAYAT et al., 2022), com uma redução de até 73% de volume de copa quando comparado ao limão Cravo (COSTA, 2021), o que facilita o manejo e colheita, e maximiza a produção por área. Entretanto, apresenta grande sensibilidade ao estresse hídrico (STUCHI et al., 2003).

Uma opção, compatível com a copa de lima ácida Tahiti, que induz um porte semi-ananicante e boa tolerância à seca em comparação ao porta-enxerto trifoliata Flying Dragon, é o citrandarin IAC 3152 Itajobi (*Citrus sunki* × *Poncirus trifoliata* cv Rubidoux), desenvolvido no Centro de Citricultura “Sylvio Moreira” (CRISTOFANI-YALY et al., 2022). Os citrandarins são híbridos resultantes do cruzamento entre microtangerinas e o *P. trifoliata* (L.) Raf., e possuem características como a indução da produção de frutos com suco de alta qualidade e elevada eficiência produtiva, além da capacidade de reduzir o porte das plantas (SIMONETTI et al., 2022). O citrandarin IAC 3152 Itajobi reduz o porte da copa e teve sua tolerância ao estresse hídrico comprovada (SOUZA et al., 2025). Ainda assim, a busca contínua por novos porta-enxertos permanece sendo importante para enfrentar novos desafios emergentes, garantindo sustentabilidade e alta produtividade na citricultura em um cenário de constante mudanças.

### 2.3. Óleo essencial

Os OEs são uma mistura complexa de vários constituintes, como hidrocarbonetos terpênicos, alcoóis, aldeídos, cetonas, fenóis, ésteres, éteres, óxidos, peróxidos, furanos, ácidos orgânicos, lactonas, cumarinas e compostos com enxofre (FILIPPIS, 2001). Extraídos de partes específicas de plantas, como cascas, folhas, frutos, sementes ou raízes, são líquidos de aparência oleosa e muito voláteis, exalando geralmente um aroma agradável e intenso (PINHEIRO citado por SILVEIRA et al., 2012). Sua densidade é inferior à da água e são solúveis em álcool, solventes orgânicos e pouco solúveis em água (BUSATTA, 2006).

Na natureza, os OEs são produzidos como metabólitos secundários pelas plantas, que atuam em seu sistema de defesa e proteção contra bactérias, vírus, fungos, insetos e até alguns herbívoros, reduzindo seu apetite por tais plantas, ou para atrair alguns insetos e favorecer a dispersão de pólen e sementes (BAKKALI, 2008). Além disso contribuem na proteção das plantas contra radiação solar, e auxiliam na regulação da perda de água nas plantas, uma vez que atuam na redução da

transpiração através da formação de uma barreira que diminui a evaporação e ajuda a manter a hidratação dos tecidos vegetais (CAVALCANTE et al., 2022; SILVA, 2017).

Conhecidos principalmente por suas propriedades biológicas, tais como atividades antibacteriana, antiviral, antifúngica e antioxidante, são usados como matéria-prima em vários setores industriais, como alimentícios, farmacêuticos, cosméticos e de perfumarias e limpeza (BAKKALI et al., 2008; WOLFFENBÜTTEL, 2007). Devido a esses benefícios, foram desenvolvidos vários estudos que comprovam a eficácia e justificam a aplicação de OEs, de diferentes materiais vegetais, para controle de doenças e pragas, visto que é uma alternativa natural aos fungicidas sintéticos, que apresentam elevado efeito residual e fitotoxicidade, assim como o risco para o desenvolvimento de mecanismos de resistência em microrganismos patogênicos (BASTOS; ALBUQUERQUE, 2004). Nesse contexto, a utilização de OEs contribui para a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, alinhando-se às demandas por menor impacto ambiental e maior segurança alimentar (SEBRAE, 2024).

Os OEs, geralmente são obtidos por processos físicos, como hidrodestilação, prensagem a frio ou destilação por arraste com vapor de água, que em escala comercial, se destaca como o método mais utilizado (SILVEIRA et al., 2012). A hidrodestilação utiliza o calor da água em ebulição para liberar compostos voláteis do material vegetal. O processo começa com a imersão ou contato do material vegetal com a água em um recipiente, onde o aquecimento gera vapor. Esse vapor arrasta os compostos voláteis, que seguem para um condensador, onde são resfriados e retornam ao estado líquido como uma mistura de água e óleo. No separador, devido à imiscibilidade, o OE, mais leve, flutua sobre a água, permitindo sua coleta (BUSATO et al., 2014).

A produção de OEs começou a se consolidar no Brasil no século XX, quando o país passou a se industrializar a partir de essências nativas como o pau-rosa. Durante a Segunda Guerra Mundial, com a escassez de suprimentos no Ocidente, o Brasil expandiu para a produção de OEs de menta, eucalipto e laranja, focando no mercado externo devido ao seu alto valor agregado. Nas décadas posteriores, empresas internacionais dos setores de perfumes, cosméticos, produtos farmacêuticos e alimentícios estabeleceram-se no país, contribuindo para o fortalecimento e a expansão do mercado interno (SEBRAE, 2024).

Os OEs de citros são compostos majoritariamente por terpenos (monoterpenos

e sesquiterpenos), e minoritariamente por compostos não voláteis (KUMMER, 2011). Arouche et al. (2024) caracterizaram o OE de lima ácida Tahiti (*C. latifolia*) e identificaram que o d-limoneno representa 30,43% da composição total, o que justifica suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Outros compostos incluem gama-terpineno (7,12%), com ações antifúngicas e relaxantes, e beta-pineno (6,15%). Em menores concentrações, componentes como óxido de cariofileno (5,89%), apiol (5,13%) e alfa-citral (4,67%) também contribuem para as propriedades bioativas do óleo. A caracterização sobre o conteúdo metabólico do óleo permite atingir mais áreas que se interessam pelo produto, por atender as demandas de compostos químicos naturais e renováveis, e que agrega valor ao produto.

Em 2021, o mercado global alcançou 253 mil toneladas comercializadas, gerando US\$ 10,3 bilhões, com previsão de expansão para 345 mil toneladas e receita de US\$ 16 bilhões anuais até 2026. Entre os principais atores globais na produção de OEs estão Índia, EUA, França, China e Brasil. Líder mundial em volume há mais de 20 anos, o Brasil destaca-se na produção e exportação de óleos cítricos, especialmente o de laranja, que responde por 95% das exportações na última década, representando entre 80 e 90% da receita anual obtida com a exportação desses produtos. A quantidade exportada de OE de laranja variou entre 25 e 31 mil toneladas por ano, com um aumento expressivo em 2020, quando as exportações atingiram 35 mil toneladas. Dados apontam uma média de 168 toneladas de óleo de lima ácida Tahiti exportadas pelo Brasil anualmente, entre 2012 e 2022, gerando US\$ 3,7 milhões. Somente em 2020, o país exportou 182,6 toneladas de óleo (BIZZO, 2022).

#### **2.4. Manejo do solo**

O manejo adequado do solo em pomares de citros é fundamental para garantir a sustentabilidade agrícola, especialmente devido à crescente demanda por frutas de alta qualidade e valor nutricional produzidas de forma sustentável (SHIMIZU, 2020). O manejo convencional do solo consiste em práticas como o preparo do solo com maquinário pesado sem a devida atenção às condições estruturais, e o controle da vegetação espontânea na entrelinha através do uso intensivo de grades, arados e herbicidas pré-emergentes. Entretanto esse manejo apresenta consequências, tais como a diminuição da capacidade de infiltração de água, maior suscetibilidade à erosão e compactação, e perda da fertilidade do solo (TURRA; SANTOS, 2015). A ausência de cobertura vegetal adequada intensifica o impacto da chuva, resultando

em menor retenção de matéria orgânica, aumento do escoamento superficial e maior exposição das raízes a altas temperaturas (SHIMIZU, 2020). Além de dificultar a conservação de nutrientes, reduzindo a longevidade e a produtividade dos pomares (AZEVEDO et al., 2015).

Surge como alternativa ao manejo convencional, o manejo ecológico, que por sua vez, é uma prática conservacionista que introduz nas entrelinhas do plantio espécies gramíneas ou similares, e aproveita a vegetação espontânea em benefício da cultura. A roçadora lateral tipo ecológica é utilizada para lançar toda massa vegetal da entrelinha para a linha de cultivo sob a copa das plantas de citros formando uma camada de *mulching* protetora (BREMNER NETO et al., 2008). Essa camada de cobertura morta (*mulch* orgânico) pode proporcionar diversas vantagens, incluindo o controle da erosão e compactação, acúmulo de matéria orgânica, reciclagem de nutrientes, aumento do armazenamento de água no solo, preservação de sua estrutura física e biológica do solo, a mitigação dos impactos de temperaturas extremas e o incremento na atividade biológica do solo (BLEVINS; FRYE citado por AZEVEDO et al., 2014). Além de auxiliar o manejo de plantas daninhas, uma vez que cria uma barreira física no solo que dificulta a germinação e o crescimento dessas plantas, melhorando seu controle, e conseqüentemente, reduzindo os custos com herbicidas (MARTINELLI et al., 2018).

A escolha da espécie a ser implantada na entrelinha deve ser feita com cuidado, levando em consideração o porte e o hábito de crescimento, de forma a evitar sombreamento e interferências diretas, seja por competição ou por efeito alelopático na cultura principal. Dentre as diversas plantas que atuam como cobertura vegetal em citros, o gênero *Urochloa* (syn. *Brachiaria*), da família Poaceae (gramíneas), popularmente conhecidas como braquiárias, se sobressai por se adaptar em diversos ambientes, como solos com baixa fertilidade, e seu sistema radicular possui a capacidade de reestruturar o solo, aumentando sua porosidade e melhorando a circulação de ar e água (BOGDAN citado por RUFINO JUNIOR, 2022). Contudo, algumas apresentam desvantagens, como a alelopatia causada pela *Urochloa decumbens*, espécie amplamente utilizada e encontrada em pomares (DURIGAN; TIMOSSI, 2002). Como alternativa, a braquiária-ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) tem se destacado por não provocar interferência à planta cítrica e produzir boa quantidade de massa seca. De acordo com Martinelli et al. (2013), o uso de *U. ruziziensis* na entrelinha não interfere no desenvolvimento vegetativo e produtivo da lima ácida

Tahiti. Além disso, no período seco não concorre por água, pois seca antes de os citros sofrerem qualquer estresse hídrico (SANCHES, 1998).

A adoção do manejo ecológico do solo pode gerar diversos benefícios para a produção de frutos, contudo, para a indução da síntese de óleo, pode ou não ser estimulante. Por isso, estudos que investiguem a influência do manejo sobre a biossíntese de óleo, devem ser crescentes, visando agregar valor a mais um destino dado ao produto cítrico.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo geral**

Quantificar o OE extraído da casca de frutos de lima ácida Tahiti colhidos de plantas em diferentes combinações copa e porta-enxerto, conduzidas em diferentes manejos do solo (ecológico e convencional).

#### **3.2. Objetivos específicos**

Avaliar o potencial hídrico das folhas de plantas de lima ácida Tahiti em diferentes combinações copa e porta-enxerto, submetidas ao manejo convencional e ecológico do solo.

Avaliar o desenvolvimento produtivo de plantas de lima ácida Tahiti em diferentes combinações copa e porta-enxerto submetidas ao manejo convencional e ecológico do solo.

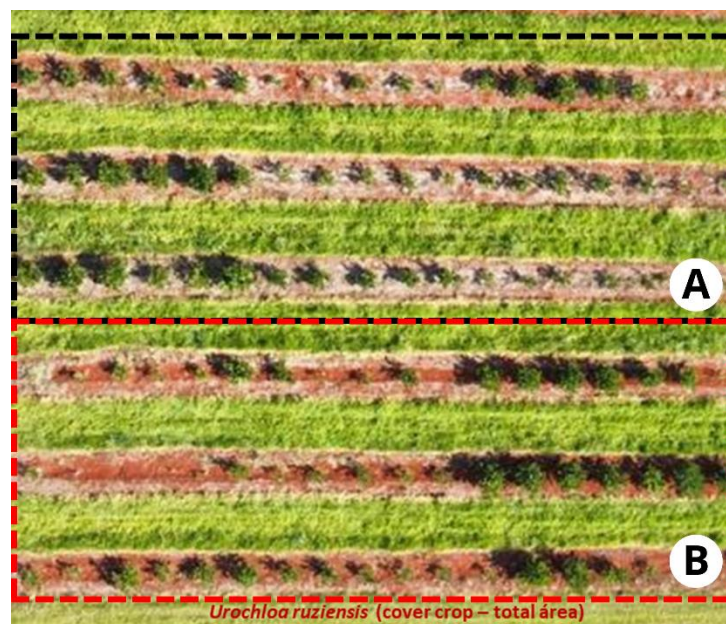
Avaliar a influência do manejo de solo, ecológico e convencional, e das diferentes combinações copa e porta-enxerto no rendimento do OE extraído da casca de frutos de lima ácida.

### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **4.1. Material vegetal e delineamento experimental**

O experimento foi instalado em 2020, no Centro de Citricultura “Sylvio Moreira” (CCSM) do Instituto Agrônomo (IAC) localizado no município de Cordeirópolis, SP. Nas entrelinhas foi semeado a *Urochloa ruziziensis* e posteriormente foram plantadas mudas de lima ácida Tahiti com 12 meses de idade, em seis linhas e espaçamento de 6,0 x 2,5m. O ensaio foi instalado em delineamento em blocos casualizados, em

esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas fixaram-se dois manejos de solo: ecológico com o uso da roçadora enleiradora lateral (ecológica), capaz de cortar a vegetação intercalar e distribuí-la simultaneamente sobre a linha da cultura (Figura 1 A) e convencional através do uso da roçadeira convencional (Figura 1 B). Nas parcelas subdivididas foram instaladas seis combinações copa e porta-enxertos: lima ácida Tahiti IAC 5 enxertada em citrandarin IAC 3152 “Itajobi” (5/152); lima ácida Tahiti IAC 5 enxertada em trifoliata IAC 718 Flying Dragon (5/FD); lima ácida Tahiti IAC 10 enxertada em citrandarin IAC 3152 “Itajobi” (10/152); lima ácida Tahiti IAC 10 enxertada em trifoliata IAC 718 Flying Dragon (10/FD); lima ácida Tahiti BRS IAC EECB Ponta-Firme enxertada em citrandarin IAC 3152 “Itajobi” (PF/152) e lima ácida Tahiti BRS IAC EECB Ponta-Firme enxertada em trifoliata IAC 718 Flying Dragon (PF/ FD). Cada parcela subdividida foi composta por cinco plantas de cada combinação copa-porta-enxerto.



**Figura 1.** Campo experimental com plantas de lima ácida Tahiti sob os dois manejos de roçagem das entrelinhas. A) Manejo ecológico (com a utilização da roçadora ecológica que distribui a cobertura morta na linha). B) Manejo convencional (com a utilização da roçadora convencional, sem cobertura morta na linha) (Cordeirópolis, SP).

## **4.2. Potencial hídrico nas folhas**

A avaliação do potencial de água nas folhas foi realizada, de acordo com a metodologia citada por KAUFFMANN (1968), em agosto de 2023, no inverno, período com pouca ocorrência de chuvas. Foram coletadas folhas de lima ácida Tahiti das diferentes combinações copa e porta-enxerto, não danificadas, no terço médio da planta, antes do amanhecer (04h), horário em que as condições ambientais promovem a estabilidade do potencial hídrico na planta, segundo as recomendações de MACHADO et al. (2002). Imediatamente após a coleta, as folhas foram armazenadas, individualmente, em sacos hermeticamente fechados, os quais foram acondicionados em caixa térmica contendo gelo, assegurando a preservação da umidade e a proteção contra qualquer tipo de contaminação e garantindo a preservação das condições adequadas para manter a integridade das amostras durante o transporte até o laboratório de análise. Para avaliação do potencial da água dos ramos foi utilizada a câmara de pressão tipo Scholander da PMS Instrument (modelo 1000 Corvallis, EUA), e os resultados expressos em Mpa. Além disso, a porcentagem de água do solo foi determinada a partir da coleta de cinco pontos aleatórios por tratamento. As amostras foram inicialmente pesadas na condição úmida e, em seguida, submetidas à secagem a 105°C até atingirem peso constante, permitindo, assim, o cálculo preciso do teor de água no solo.

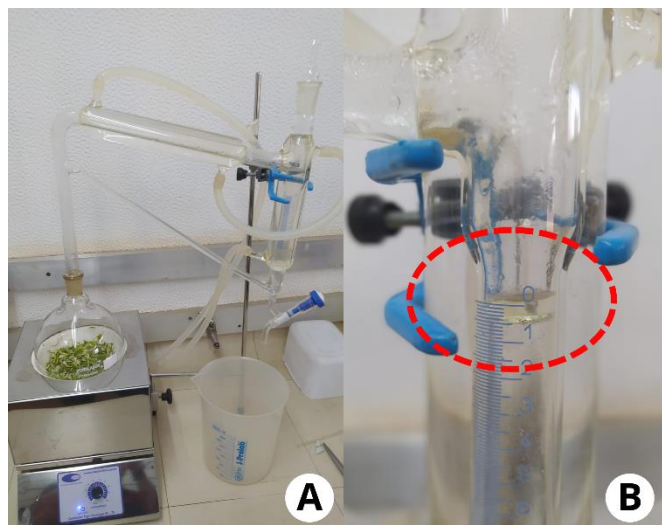
## **4.3. Produtividade**

Realizou-se a colheita no período de safra de 2024, de todos os frutos de cada árvore sempre que se notava a presença de frutos maduros. Após cada colheita, os frutos foram pesados utilizando uma balança analítica com precisão de 1 grama. A avaliação da produtividade foi determinada com base no peso total dos frutos e na área ocupada pelas árvores, expressando os resultados em toneladas por hectare ( $t\ ha^{-1}$ ).

## **4.4. Extração de óleo essencial**

Para a extração do OE, foram coletados 10 frutos maduros de cada repetição. Após a coleta, os frutos foram lavados e descascados, mantendo o albedo presente na casca. As cascas foram pesadas em balança analítica, e os resultados expressos em gramas. Posteriormente, as cascas foram picotadas manualmente em pedaços de aproximadamente 1  $cm^2$  e submetidas ao processo de hidrodestilação em um

aparelho tipo Clevenger modificado (Figura 2 A). O procedimento foi realizado com a utilização de um balão volumétrico de dois litros, preenchido até a metade do volume com água milli-Q, mantida em ebulição por meio de um aquecedor externo, por um período de 3 horas (TEIXEIRA et al., 2013), com o tempo contabilizado a partir da condensação da primeira gota. Ao final do processo, o óleo (Figura 2 B) foi coletado com o auxílio de uma pipeta e armazenado protegido da luz, à 4 °C. Após a extração do OE calculou-se a porcentagem de casca por peso de fruto, o rendimento de OE por casca de fruto, rendimento do óleo por tonelada de fruto e rendimento do óleo por área.



**Figura 2.** Hidrodestilação do óleo essencial de lima ácida Tahiti. A) Aparelho de Clevenger modificado. B) óleo essencial de lima ácida Tahiti após destilação.

#### 4.4.1. Porcentagem de casca (%)

A porcentagem de casca em relação ao peso do fruto foi calculada com base no peso médio de todos os frutos coletados por repetição e no peso médio das cascas desses frutos, ambos os valores expressos em gramas. O resultado, em %, foi obtido a partir da seguinte equação:

$$\text{Porcentagem de casca (\%)} = \frac{(\text{Peso médio da casca (g)} \times 100)}{\text{Peso médio do fruto (g)}}$$

#### 4.4.2. Rendimento do óleo por massa de casca de fruto

O rendimento de OE por casca de fruto foi calculado dividindo-se o volume de OE extraído de todos os frutos por repetição, medido em mililitros (ml), pela massa

das cascas desses frutos em gramas. A equação utilizada para o cálculo é apresentada a seguir:

$$\text{Rendimento (ml óleo} \cdot \text{g massa de casca}^{-1}) = \frac{\text{Volume do óleo (ml)}}{\text{Massa da casca (g)}}$$

#### 4.4.3. Rendimento do óleo por tonelada de fruto

Para o cálculo do rendimento de OE por tonelada de fruto, foi necessário determinar a massa do OE extraído em quilogramas (kg). Para isso, utilizou-se o volume médio de OE extraído de todos os frutos por repetição, multiplicado pela densidade do OE de lima ácida Tahiti a 20 °C (0,852 g/cm<sup>3</sup>, conforme SANTOS; ERENO, 2018) e dividido por 1000, conforme a fórmula:

$$\text{Massa do óleo essencial (kg)} = \frac{(\text{Volume médio do óleo} \times 0,852)}{1000}$$

O valor da massa do OE extraído em quilogramas foi multiplicado pela produtividade da safra de 2024 (t ha<sup>-1</sup>) e dividido pelo peso médio de todos os frutos coletados por repetição (kg). Por fim, o resultado foi multiplicado por 1000, resultando na equação final que expressa o rendimento em quilogramas de OE por tonelada de fruto:

$$\text{Rendimento (kg óleo} \cdot \text{ton de fruto}^{-1}) = \left( \frac{\text{Massa do óleo (kg)}}{\left( \frac{\text{Peso médio do fruto (kg)}}{1000} \right)} \right)$$

#### 4.4.4. Rendimento do óleo por área

O cálculo do rendimento de OE por área foi realizado multiplicando a massa do óleo essencial (kg) pela produtividade da área (t ha<sup>-1</sup>), ambos divididos pelo peso médio do fruto (kg). O resultado foi então multiplicado por 1000, obtendo-se o rendimento expresso em quilogramas de OE por hectare. A equação utilizada é apresentada abaixo:

$$\text{Rendimento (kg óleo} \cdot \text{ha}^{-1}) = \left( \frac{\text{massa do óleo} \times \text{produtividade}}{\text{Peso médio do fruto (kg)}} \right) \times 1000$$

#### 4.5. Análises estatísticas

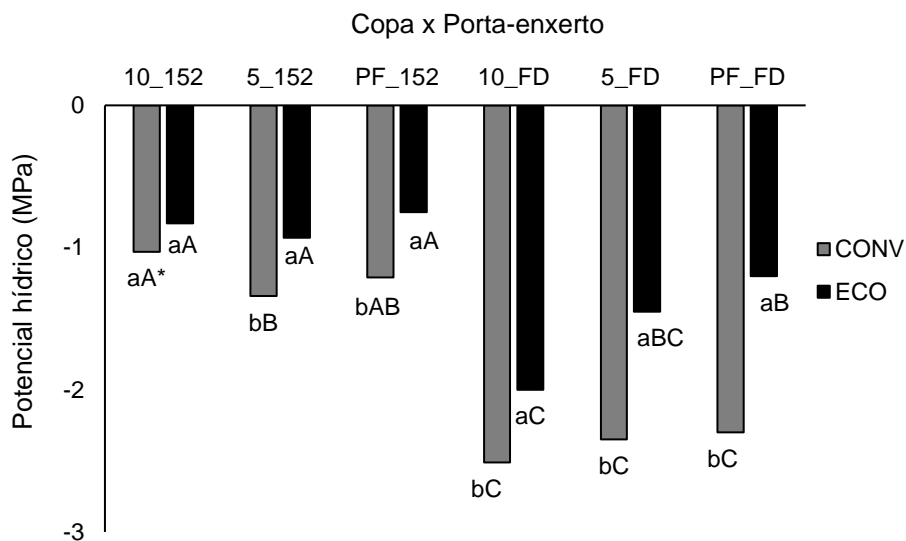
Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, e quando

significativo ao estudo de comparação de médias pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas foram realizadas no software RStudio® (Foundation for Statistical Computing, Viena, Áustria).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Potencial hídrico nas folhas

A média do teor de água no solo em ambos os tratamentos foi de aproximadamente 30%, sem diferenças estatisticamente significativas entre eles. As folhas das plantas nas combinações de copa/porta-enxerto conduzidas no manejo ecológico apresentaram maior potencial hídrico comparadas as mesmas combinações sob o manejo convencional, exceto a combinação 10/152, que não apresentou diferença significativa entre os manejos (Figura 3).



**Figura 3.** Potencial hídrico foliar (MPa) das folhas coletadas das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Inverno 2023.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O maior potencial hídrico das folhas coletadas das combinações conduzidas no manejo ecológico justifica-se pelas condições hídricas mais favoráveis às plantas, através de práticas de manejo mais sustentáveis e menos invasivas ao solo. Além disso, a camada de *mulching* na linha de plantio impede a evaporação da água da

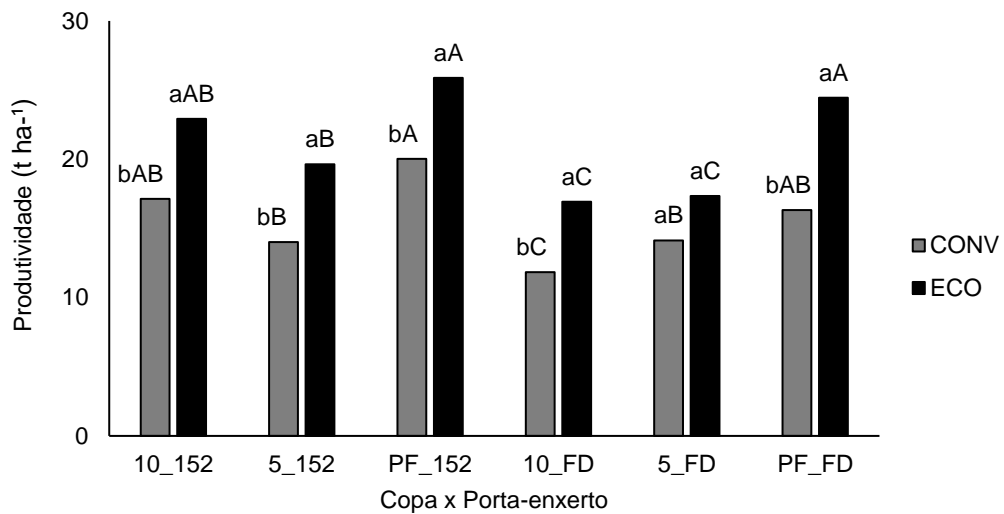
superfície do solo beneficiando as plantas. No manejo convencional as linhas de plantio ficam expostas à maior incidência de raios solares acarretando a evaporação mais rápida da água, e conseqüentemente, à valores mais negativos de potencial hídrico nas folhas (AZEVEDO et al., 2020).

No manejo convencional e ecológico, todas as folhas coletadas das copas enxertadas sobre o citrandarin IAC 3152 Itajobi (10/152; 5/152; PF/152) apresentaram maior potencial hídrico comparado as combinações enxertadas em Flying Dragon (10/FD; 5/FD; PF/FD). Essa diferença ocorre porque o FD é um porta-enxerto de porte ananicante, o que reduz o desenvolvimento da copa e, conseqüentemente, a capacidade da planta de explorar o solo e absorver água. Além disso, seu sistema radicular é menos profundo e eficiente na extração de água em períodos de déficit hídrico, que o torna o mais sensível a condições adversas, como a baixa disponibilidade hídrica em solos expostos ao sol, comuns no manejo convencional (STUCHI, 2003).

Enquanto o citrandarin IAC 3152 é considerado semi-ananicante e possui um sistema radicular mais robusto que o FD, o que permite melhor absorção de água e nutrientes, conferindo maior tolerância à seca (SCHINOR, 2015). No manejo convencional, a ausência de cobertura vegetal favorece a evaporação da água do solo, impactando mais severamente os porta-enxertos menos vigorosos, como o FD. Assim, a maior vulnerabilidade do FD ao estresse hídrico, combinada com as condições desfavoráveis do manejo convencional, explica os valores mais negativos de potencial hídrico foliar observados nas plantas enxertadas sobre esse porta-enxerto.

## **5.2. Produtividade**

A produtividade da área com plantas nas combinações de copa/porta-enxerto conduzidas no manejo ecológico foi maior comparada as mesmas combinações sob o manejo convencional, exceto a combinação 5/FD, que não apresentou diferença significativa entre os manejos (Figura 4).



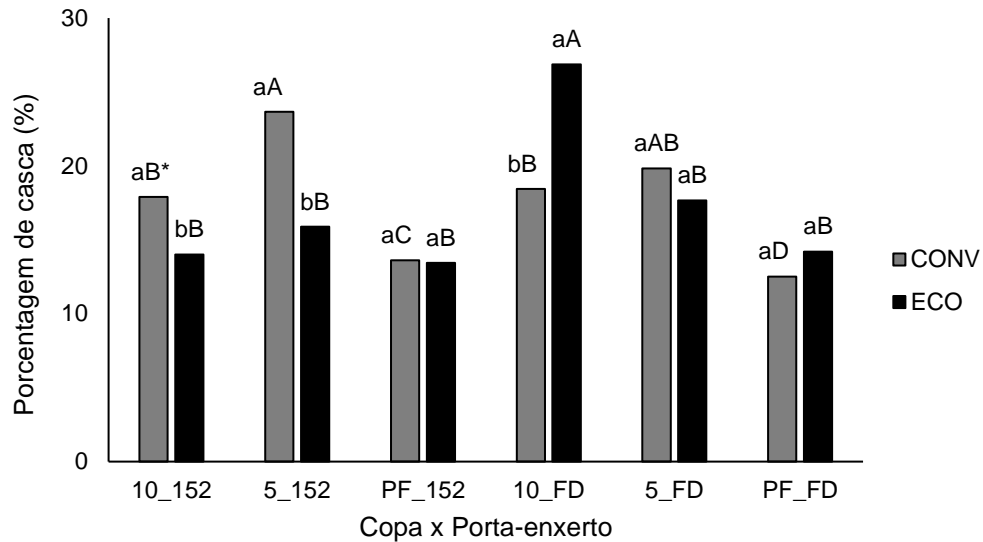
**Figura 4.** Produtividade por área (t ha<sup>-1</sup>) das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Safra 2024.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

O manejo ecológico apresenta maior produtividade por área indicando que práticas sustentáveis, ao promover um solo mais saudável, com melhor retenção de nutrientes e água, contribuem para o aumento da produção. No manejo convencional, a compactação do solo associada a limitação da infiltração de água e a aeração, dificulta o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes. Essa limitação foi refletida nos dados da produtividade, sugerindo que o manejo convencional, embora difundido, não é eficiente para maximizar a produção (ARAÚJO, 2014). No manejo convencional e ecológico a combinação PF/152 apresentou maior produtividade comparado às combinações 5/152; 10/FD e 5/FD.

### 5.3. Porcentagem de casca (%)

A porcentagem de casca dos frutos colhidos das plantas conduzidas nas combinações 10/152 e 5/152 conduzidas no manejo convencional foi maior comparada as mesmas combinações sob o manejo ecológico (Figura 5).



**Figura 5.** Porcentagem de casca dos frutos colhidos de plantas nas combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

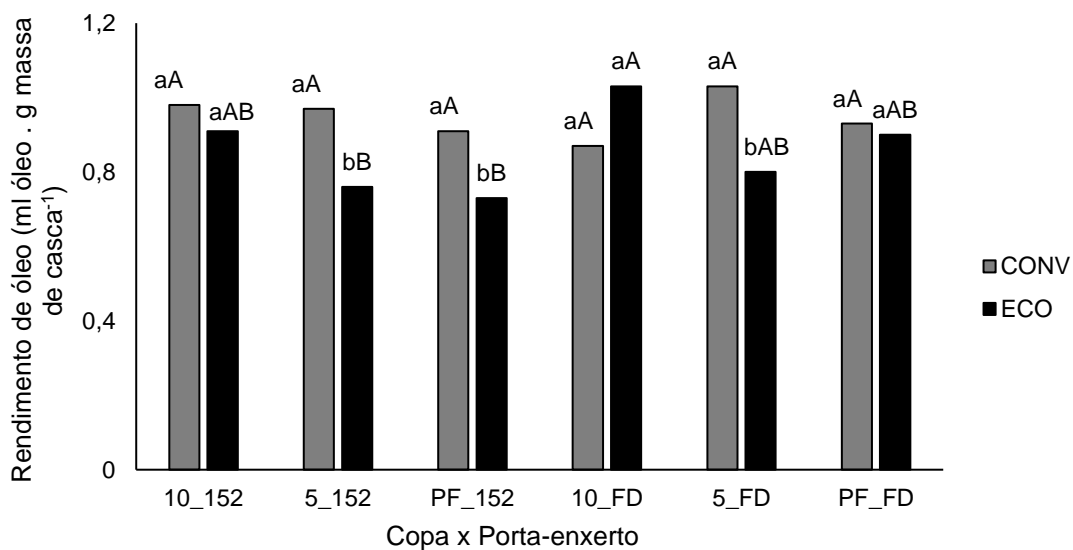
Esse resultado pode ser atribuído a uma adaptação das plantas a condições ambientais mais estressantes, como maior exposição das raízes à radiação solar, compactação do solo e menor eficiência na retenção de água conferidas por um manejo não conservacionista. Segundo Mazzoni-Viveiros e Costa (2003), a espessura da casca está diretamente relacionada à sua função como isolante térmico, protegendo os tecidos internos da planta contra extremos de temperatura e radiação solar. Além disso, as condições ambientais impostas pelo manejo convencional, como menor porosidade do solo e maior déficit hídrico, podem levar a um maior desenvolvimento de estruturas externas, como a casca, como uma forma de proteger os frutos e garantir sua sobrevivência em condições adversas.

A escolha do manejo ecológico pode ser vantajosa por reduzir a espessura da casca, aumentando a relação polpa/casca, importante para a indústria de sucos e mercado *in natura*, porém o manejo convencional parece ser mais vantajoso para aumentar a porcentagem de casca, beneficiando o mercado de OEs.

No manejo convencional a combinação 5/152 apresentou maior porcentagem de casca comparado às combinações 10/152, PF/152, 10/FD e PF/FD (Figura 5). No manejo ecológico a combinação 10/FD apresentou maior porcentagem de casca em relação às demais combinações.

#### 5.4. Rendimento do óleo por massa de casca de fruto

Nas combinações de copa/porta-enxerto 5/152, PF/152 e 5/FD conduzidas no manejo convencional houve maior rendimento do óleo por massa da casca de fruto comparado ao manejo ecológico (Figura 6).



**Figura 6.** Rendimento do óleo por massa da casca de fruto das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Esses resultados indicam que o manejo convencional, caracterizado por práticas mais intensivas, pode criar condições mais favoráveis para a produção de OE, como estresses hídricos moderados, que estimulam a síntese de compostos secundários. Esse comportamento, descrito por Silva et al. (2002), reflete a interação genótipo-ambiente, na qual determinadas condições ambientais podem intensificar a eficiência produtiva desses compostos.

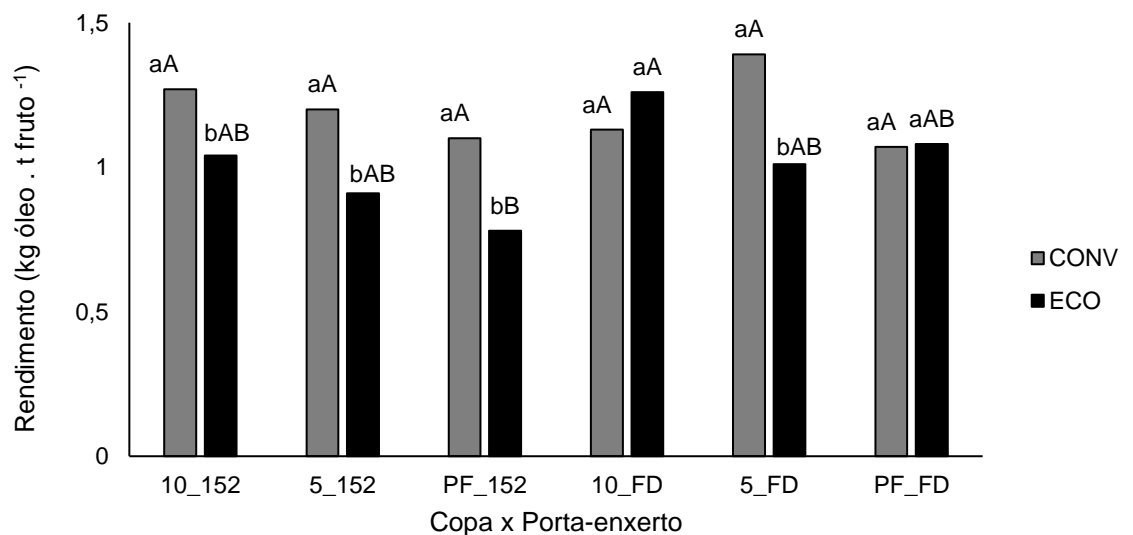
Segundo Pinto et al. (2014), o estresse hídrico moderado favorece a produção de metabólitos secundários como citral e terpenos, componentes dos OEs. Plantas cultivadas sob menor disponibilidade hídrica frequentemente direcionam recursos

energéticos para a produção de metabólitos secundários ao invés de crescimento vegetativo (BLANK et al., 2007), o que pode explicar os maiores rendimentos observados no manejo convencional nas combinações 5/152, PF/152 e 5/FD.

No manejo convencional não houve diferença entre as combinações no rendimento do óleo por massa da casca de fruto (Figura 6). No manejo ecológico a combinação 10/FD foi superior às combinações 5/152 e PF/152.

### 5.5. Rendimento do óleo por tonelada de fruto

Nas combinações de copa/porta-enxerto 10/152, 5/152, PF/152 e 5/FD conduzidas no manejo convencional houve maior rendimento de OE por tonelada de fruto comparado ao manejo ecológico (Figura 7).



**Figura 7.** Rendimento do óleo essencial por tonelada de fruto das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Esses resultados podem estar relacionados ao maior déficit hídrico proporcionado pelo manejo convencional comparado ao manejo ecológico. Azevedo et al. (2013) observaram menor perda de água no solo, quando se manejou a entrelinha do pomar com a roçadora ecológica. Esse efeito é associado à maior infiltração de água na profundidade de 0-20 cm do solo e assim, maior disponibilidade de água no solo.

O processo de resposta adaptativa das plantas ao estresse hídrico envolve alterações em nível fisiológico, celular e molecular para minimizar os impactos da deficiência de água. As plantas aumentam a resistência estomática, reduzindo a transpiração e a entrada de CO<sub>2</sub>, o que diminui a atividade fotossintética. Essa redução é acompanhada por mudanças metabólicas, que ajuda a manter a turgescência celular e garantir a sobrevivência em condições adversas, e que pode redirecionar a alocação de carbono para a produção de metabólitos secundários em vez do crescimento da biomassa. Nesse caso, vias biossintéticas específicas são ativadas, aumentando significativamente a concentração de compostos voláteis, como terpenos, o que sugere uma permuta entre crescimento e defesa (SOUZA et al., 2023).

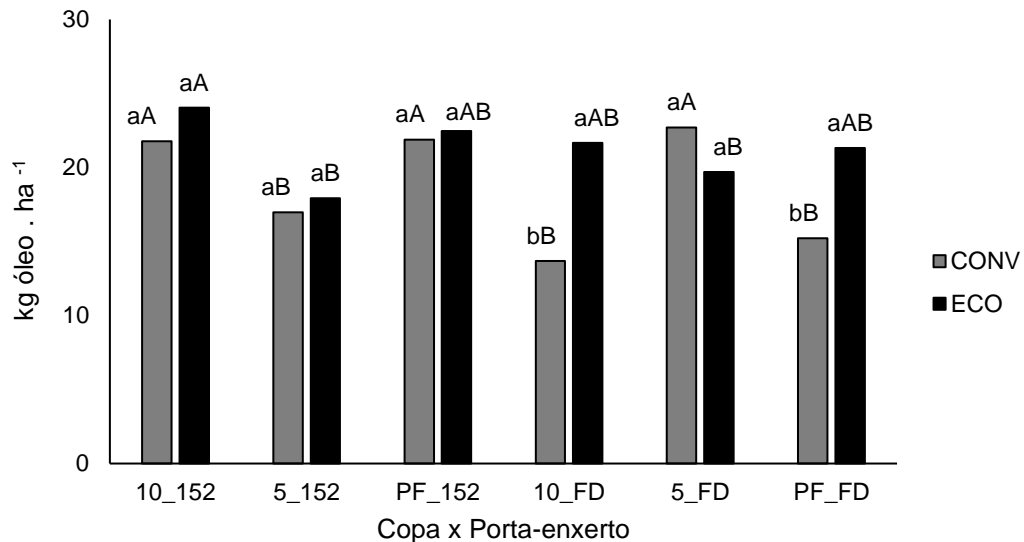
Assim, a maior concentração de OEs em condições de menor disponibilidade hídrica pode ser explicada pela resposta fisiológica da planta, que ajusta seu metabolismo para garantir a sobrevivência, promovendo um aumento na síntese de compostos voláteis com propriedades adaptativas e de defesa. Esse fenômeno tem implicações diretas na agricultura e na indústria de fitoterápicos, uma vez que práticas controladas de restrição hídrica podem ser utilizadas para otimizar a produção de OEs em culturas de interesse comercial (OCAMPOS et al., 2024).

Simon et al. (1992) avaliaram a influência do estresse hídrico na extração OE de *Ocimum basilicum*, os autores observaram que sob condições de estresse, houve aumento no rendimento, duas vezes maior, de OE. Lopes et al. (2001), que investigaram a influência de regimes hídricos (ambiente úmido, moderadamente úmido e seco) na produção de OE de *Polygonum punctatum*, observaram que o maior rendimento foi alcançado sob condições de ambiente seco, em comparação aos demais. Esses resultados sugerem que o aumento na biossíntese de OE pode atuar como uma resposta adaptativa das plantas ao estresse hídrico, vinculando-se a alterações fisiológicas em resposta às condições ambientais, como a proteção contra ataques oxidativos, reduzindo os danos celulares causados pelo acúmulo de radicais livres e contribuindo para a manutenção da integridade das membranas e do metabolismo da planta.

No manejo convencional não houve diferença entre as combinações no rendimento do óleo por tonelada de fruto. No manejo ecológico o rendimento de óleo por tonelada de fruto foi maior na combinação 10/FD comparado à combinação PF/152.

## 5.6. Rendimento do óleo por área

Nas combinações de copa/porta-enxerto 10/FD e PF/FD conduzidas no manejo ecológico houve maior rendimento de OE por hectare comparado ao manejo convencional (Figura 8).



**Figura 8.** Rendimento do óleo essencial por hectare das combinações copa/porta-enxerto: 10/152; 5/152; PF/152; 10/FD; 5/FD; PF/ FD submetidas aos manejos com roçagem convencional (CONV) e ecológico (ECO). Verão 2024.

**Legenda:** Médias seguidas das mesmas letras minúsculas entre manejos do solo na mesma combinação copa/porta-enxerto, maiúsculas entre as combinações copa/porta-enxerto no mesmo manejo de solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

No manejo convencional, onde ocorre maior estresse às plantas, o rendimento do óleo por massa de casca de fruto é maior (Figura 7), a fim de prevenir danos oxidativos, ou a própria perda d'água por transpiração, ao promover a barreira protetora de óleo. Esse aumento está relacionado à resposta fisiológica da planta ao estresse, que estimula a produção de compostos antioxidantes, como os óleos essenciais, para minimizar os danos causados pelo excesso de radicais livres. Esses radicais podem degradar estruturas celulares e comprometer o metabolismo da planta, afetando seu crescimento e produtividade. A barreira de óleo formada na casca ajuda a reduzir a perda hídrica e proteger as células contra esses danos. (SOUZA, et al, 2025). No entanto a quantidade de fruto disponível para extração de óleo no manejo ecológico, é maior que no convencional (maior produtividade, Figura 4), proporcionando maior quantidade de OEs por área.

No manejo convencional o rendimento de óleo por hectare foi maior nas

combinações 10/FD, PF/152, 5/FD comparado às combinações 5/152, 10/FD e PF/FD. No manejo ecológico o rendimento de óleo por hectare foi maior na combinação 10/152 comparado às combinações 5/152 e 5/FD.

Apesar da maior susceptibilidade à seca, o FD apresentou um diferencial positivo no rendimento de óleo essencial por hectare sob manejo ecológico. O maior volume de frutos produzidos nesse sistema favoreceu a extração de óleo em maior escala, destacando-se as combinações 10/FD e PF/FD com os maiores rendimentos. Assim, enquanto no manejo convencional o FD foi mais afetado negativamente pelo estresse hídrico, no manejo ecológico ele se beneficiou das condições mais equilibradas, resultando em maior produtividade e melhor aproveitamento para a extração de óleo essencial, ou seja, mesmo sendo mais suscetível à seca, o FD apresentou rendimentos de óleo semelhantes aos do 152, que é naturalmente mais tolerante, demonstrando sua eficiência para a produção de óleo essencial.

## **6. CONCLUSÃO**

Entre as combinações copa x porta-enxerto avaliadas, as plantas enxertadas no porta-enxerto citrandarin IAC 3152 "Itajobi" demonstraram maior tolerância à seca e melhor resposta produtiva sob manejo ecológico. Esse porta-enxerto favoreceu um maior acúmulo hídrico, garantindo maior produtividade de frutos e, conseqüentemente, maior extração de óleo essencial (OE) por área. No manejo convencional, onde o estresse hídrico e térmico é mais intenso, o rendimento de óleo por massa de casca e por tonelada de fruto foi superior, uma vez que o estresse estimula a produção de compostos voláteis de defesa. No entanto, a menor produção de frutos nesse manejo limitou o rendimento final de OE por hectare. Já no manejo ecológico, a maior disponibilidade de frutos compensou a menor concentração de OE por tonelada de fruto, resultando em um rendimento total mais expressivo.

Apesar de sua maior suscetibilidade à seca, o porta-enxerto Flying Dragon (FD) apresentou um desempenho notável na produção de OE, principalmente quando conduzido sob manejo ecológico. Entre as combinações avaliadas, a combinação 10\_152 destacou-se como a melhor para a produção de óleo essencial quando o critério principal foi apenas o rendimento de OE por área. No entanto, considerando tanto a produção de óleo quanto a produtividade de frutos, a combinação PF\_FD

demonstrou maior constância nos dois manejos, garantindo um equilíbrio entre a extração de OE e a quantidade de frutos produzidos

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, C. O. **Déficit hídrico no preflorcimento da laranjeira ‘Folha Murcha’ e a influência na produção e na qualidade dos frutos.** Universidade estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, p. 86, 2018.

ARAÚJO, J. F. Manejo ecológico do solo e da água centro de agroecologia, energias renováveis e desenvolvimento sustentável. Centro de Agroecologia, Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável - Caerdes. **Salvador:** [s.n.]. v. 3, 2014.

AROUCHE, J. DE S. et al. Caracterização do óleo essencial do Limão Tahiti (*Citrus Latifolia tanaka*) e a importância de suas propriedades para a saúde humana. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 22, n. 6, p. 13, 7 jun. 2024.

AZEVEDO, F. A. DE et al. Manejo da cobertura do solo na citricultura brasileira. **Citrus Research Technology**, v. 35, n. 2, p. 85–95, 2014.

AZEVEDO, F. A. DE et al. No-Tillage and High-Density Planting for Tahiti Acid Lime Grafted Onto Flying Dragon Trifoliate Orange. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 4, 16 jul. 2020.

BAGETTA, G. et al. Neuropharmacology of the essential oil of bergamot. **Fitoterapia**, v. 81, n. 6, p. 453–461, set. 2010.

BAKKALI, F. et al. Biological effects of essential oils - A review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446–475, fev. 2008.

BARBOSA, C. DE J.; RODRIGUES, A. S. Tristeza dos citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 3, p. 525–770, set. 2014.

BASTOS, C. N.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Efeito do óleo de *Piper aduncum* no controle em pós-colheita de *Colletotricum musae* em banana. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 5, p. 555–557, 2004.

BETTINI, B. A. **Desempenho de lima ácida Tahiti sobre diferentes porta-enxertos.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, p. 70, 2019.

BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. The market of essential oils in Brazil and in the world in the last decade. **Química Nova**, v. 45, n. 8, p. 949–958, 2022.

BLANK, A. F. et al. Influence of season, harvest time and drying on Java citronella (*Cymbopogon winterianus* Jowitt) volatile oil. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 4, p. 557–564, 2007.

BRAZ, V. B. **Produção e qualidade de frutos da limeira ‘Tahiti’ irrigada com diferentes frequências e lâminas de água.** Universidade Federal de Viçosa, p. 111, 2007.

BREMER NETO, H. et al. Estado nutricional e produção de laranjeira “Pêra” em função da vegetação intercalar e cobertura morta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 29–35, 2008.

BREMER NETO, H.; SILVA, S. R.; MOURÃO FILHO, F. A. A.; SPOSITO, M. B.; CAPUTO, M. M. Boas Práticas para a Produção de Mudas Cítricas. Araraquara: **Vivecitrus**, 2015. 69 p. ISBN: 978-85-67321-00-4.

BRITO, K. D. et al. Estudo experimental do limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka): composição físico-química e de minerais da polpa in natura e do resíduo albedo. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 37, p. 64, 2017.

BUSATO, N. V. et al. Modeling strategies for essential oil extraction by hydrodistillation and steam distillation. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1574–1582, 1 set. 2014.

BUSATTA, C. **Caracterização química e atividade antimicrobiana in vitro e em alimentos dos extratos de orégano e manjerona.** Dissertação (Mestrado) Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, p. 84, 2006.

CAVALCANTE, N. B. et al. Composição química e fator de proteção solar de óleos essenciais das folhas de espécies de *Ocimum*. **Revista Fitos**, v. 16, n. 2, p. 181–191,

2022.

CCSM. **Limão em foco**. Cordeirópolis: CENTRO DE CITRICULTURA SYLVIO MOREIRA, 2022. Disponível em: [https://ccsm.br/wp-content/uploads/2023/11/LIMAO\\_EM\\_FOCO\\_2022\\_ano2.pdf](https://ccsm.br/wp-content/uploads/2023/11/LIMAO_EM_FOCO_2022_ano2.pdf). Acesso em: 17 fev. 2025.

CRISTOFANI-YALY, M. et al. Novos porta-enxertos do Centro de Citricultura Sylvio Moreira/IAC disponibilizados para o setor citrícola. **Citricultura Atual**, Cordeirópolis: Grupo de Consultores em Citros (GCONCI), n. 132, p. 34-36, fev. 2022. Disponível em: [www.gconci.com.br](http://www.gconci.com.br). Acesso em: 3 dez. 2024

COELHO, Y. DA S. et al. **A cultura do limão-taiti**. 2. ed. rev ed. Brasília, DF: (Coleção Plantar, 39), 1998.

CORÁ JE, SILVA GO & MARTINS FILHO MV. Manejo do solo sob citros. In: Mattos Jr. D, De Negri JD, Pio RM & Pompeu JR J **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, p.347-368, 2005.

COSTA, G. DA. **Rendimento e composição de óleo essencial de lima ácida (Citrus latifolia Tanaka) enxertada em 16 variedades de porta-enxertos**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de São Carlos, 2021.

DIANA, E. H. L.; ISIDORO, C. P. F.; IKEFUTI, C. V. O agronegócio e a produtividade do limão tahiti: Um estudo no município de Marinópolis, no Noroeste Paulista / Agribusiness and the productivity of tahiti lemon: A study in the municipality of Marinópolis, in Northwest Paulista. **Brazilian Journal of Business**, v. 3, n. 4, p. 3208–3219, 25 ago. 2021.

DURIGAN, J. C.; TIMOSSI, P. C. Manejo de plantas daninhas em pomares cítricos. **Editora Novos Talentos**, p. 53, 2002.

EMBRAPA. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. **Porta-enxertos adequados com adensamento fazem citricultura poupar terra**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/79260421/porta-enxertos-adequados-com-adensamento-fazem-citricultura-poupar-terra>. Acesso em: 3 dez. 2024.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2024 - Food and Agriculture Data. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>. Acesso em: 12 nov. 2024.

FERNANDES, P. D. et al. Crescimento de híbridos e variedades porta-enxerto de citros sob salinidade. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 259–267, 2011.

FIDALSKI, J. et al. Availability of soil water under tillage systems, mulch management and citrus rootstocks. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 3, p. 917–924, 2010.

FILIPPIS, F. M. **Extração com CO<sub>2</sub> Supercrítico de Óleos Essenciais de Hon-sho e Ho-sho – Experimentos e Modelagem**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 114, 2001.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR., F. T.; GENEVE, R. L. Plant propagation: principles and practices. 7. ed. **New Jersey: Prentice Hall**, p. 880, 2002.

HAYAT, F. et al. A Mini Review of Citrus Rootstocks and Their Role in High-Density Orchards. **Plants**, v. 11, n. 21, p. 1–14, 2022.

HOBBS, P. R. et al. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 543–555, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção de Limão. 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producaoagropecuaria/limao/br>>. Acesso em: 15 dez. 2024.

KAUFMANN, M.R. Evaluation of the pressure chamber method for measurement of water stress in citrus. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, Geneva, v.93, p. 186-190, 1968.

KUMMER, R. Avaliação da atividade anti-inflamatória do óleo essencial de Citrus latifolia Tanaka e limoneno em modelos experimentais em camundongos. **Dissertação Universidade Estadual de Maringá**, n. 44, p. 14, 2011.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, Rima. 2006

LOPES, J. M. S. et al. Importância econômica do Citros no Brasil. **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 20, 2011.

LOPES RC; CASALI VWD; BARBOSA LCA; CECON PR. Influência de três regimes hídricos na produção de óleo essencial em sete acessos de *Polygonum punctatum* Ell. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais** 3: 7-10, 2001.

MACHADO, E.C.; MEDINA, C.L.; GOMES, M.M.A.; HABERMANN, G. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial água na folha de laranjeira Valência". **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p. 53-58, 2002.

MAHATO, N. et al. Biotransformation of citrus waste-i: Production of biofuel and valuable compounds by fermentation. **Processes**, v. 9, n. 2, p. 1–49, 1 fev. 2021.

MARTINELLI, R. et al. Braquiárias, roçadeiras e herbicida no manejo de plantas daninhas em citros. **Anais VII Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2013**, p. 8, 2013.

MARTINELLI, R. et al. Roçagem ecológica com *Urochloa* spp.: opção de manejo integrado de plantas daninhas que promove a agricultura de conservação em citros. **Innovations Agronomiques** 64, v. 64, p. 113–132, 2018.

MAZZONI-VIVEIROS, S.C. & COSTA, C.G. Periderme. In **Anatomia Vegetal** (B. Appezato-da-Glória & S.M. Carmello-Guerreiro, eds.) UFV, Viçosa, p.237-263, 2003.

MENDES, M. I. D. S. Regeneração in vitro de porta-enxertos e minienxertia em Citros. **Universidade Federal do Recôncavo da Bahia**, v. 4, n. June, p. 2016, 2016.

MURTHY, H.N., LEE, EJ. & PAEK, KY. Production of secondary metabolites from cell and organ cultures: strategies and approaches for biomass improvement and metabolite accumulation. **Plant Cell Tiss Organ Cult** v.118, p.1-16, 2014.

NAVARRETE, A. et al. Improvement of essential oil steam distillation by microwave pretreatment. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 8, p. 4667–4671, 20 abr. 2011.

NEVES, M. F. et al. **O retrato da citricultura brasileira**. Ribeirão Preto, SP: Centro de Pesquisa e Projetos em Marketing e Estratégia (Markestrat), 2010.

NEVES, C. S. V. J.; RODRIGUES, M. L.; PEREIRA, F. de M. **Recomendações para a produção de lima ácida Tahiti no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1145897/1/Recomendacoes-producao-lima-acida-Tahiti-Citros.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2025.

OCAMPOS, F. M. M. et al. NMR-based plant metabolomics protocols: a step-by-step guide. **Frontiers in Natural Products**, v. 3, n. July, p. 1–21, 2024.

OLIVEIRA, R. P. et al. Porta-enxertos para citros. **Embrapa**, p. 1–45, 2008.

ORTOLANI AA; CAMARGO MBP. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO RC et al. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 71-81, 1987.

PINTO, A. D. Q.; SOUSA, E. D. S.; RAMOS, V. V. Tecnologia de Produção e Comercialização da Lima ácida “Tahiti”, do Maracujá azedo e da Goiaba para o Cerrado. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, v. 1, n. 1517–5111, p. 69, 2004.

PINTO, D. A. et al. Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 16, n. 1, p. 54–61, 2014.

POMPEU JUNIOR, J. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC: FUNDAG, p.63-104, 2005.

POMPEU JUNIOR, J.; BLUMER, S. Híbridos de trifoliata como porta-enxertos para laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 44, n. 1, p. 9-14, 2014.

RAMOS, Y. C. Qualidade de clones de lima ácida Tahiti. **Iv Jornada Científica Embrapa Mandioca E Fruticultura**, v. 4, n. I, p. 5–7, 2010.

REECE, P.C.; CHILDS, J.F.L. Character differences among seedlings of the Persian lime. **Proceedings of Florida State Horticultural Society**, v. 75, p. 110-116, 1962.

RUFINO JUNIOR, L. R. R. Associação de programas de controle de plantas daninhas para a roçagem ecológica em citros. **Universidade Federal de São Carlos**, 2022.

SANCHES, A. C. Conservação do solo em pomares cítricos. Em **Seminário internacional de citros**, 5. Campinas. Anais. Campinas: Fundação Cargill, p.167-187, 1998.

SANTOS, B.; ERENO, M. A. Especificação Técnica Óleo Essencial de Limão Taiti. **Dierberger Óleos Essenciais S.A.**, 2018.

SCHAFER, G.; BASTIANEL, M.; CUNHA, A. L. D. Porta-Enxertos Utilizados Na Citricultura Citriculture Rootstocks in Use. **Ciencia rural**, Santa Maria, v. 31, p. 723–733, 2001.

SCHINOR, E. H.; NASCIMENTO, A. L.; PAES DE BARROS, V. L. N.; BASTIANEL, M.; AZEVEDO, F. A.; CRISTOFANI-YALY, M. Atributos de frutos e crescimento vegetativo de porta-enxertos de citrandarins em viveiro. **Citrus Research & Technology**, v. 36, n. 1, p. 27-35, 2015.

SEBRAE. Explorando o potencial da extração de óleos essenciais nas propriedades rurais. **Polo Sebrae Agro**, 2024.

SHIMIZU, G. D. **Manejo do solo em pomar de laranja natal com espécies de braquiárias**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Londrina, 2020.

SIMON JE; REISS P; BUBENHEIM D; JOJY RJ et al. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. **Journal of Essential Oil Research** 4: 71-75, 1992.

SILVA, S. R. S. et al. Efeito do estresse hídrico sobre características de crescimento e a produção de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 24, n. 5, p. 1363–1368, 2002.

SILVA, T. S. DE P. **Caracterização do óleo essencial de frutos de Coentro submetidos à restrição hídrica**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF, p. 51, 2017.

SILVEIRA, J. C. et al. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos

essenciais. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer**, v. 8, n. 15, p. 2039, 2012.

SILVESTRE, W. P.; PAULETTI, G. Óleo essencial cítrico: produção, composição e fracionamento. In: **Citricultura do Rio Grande do Sul: indicações técnicas**. [s.l.] Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação - SEAPI RS, 2018.

SIMONETTI, O. A. et al. Citricultura Atual. **Revista do Grupo de Consultores em Citros**, v. Ano XXV, n. 132, p. 34–36, 2022.

SOUZA, A. DE A.; MÜLLER, G. W. A premunização no Controle da Tristeza dos Citros. **Fitopatologia**, v. 27, n. 1, p. 57–70, 2006.

SOUZA, A. J. B. DE et al. NMR-Based Metabolomics Reveals Effects of Water Stress in the Primary and Specialized Metabolisms of *Bauhinia unguolata* L. (Fabaceae). **Metabolites**, v. 13, n. 3, 2023.

SOUZA, A. J. B. DE et al. Physiological and productivity responses of Tahiti acid lime grafted onto dwarfing rootstocks with different planting and mulching practices. **Frontiers**, 2025.

STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C.; SEMPIONATO, O. R. Performance de la lime Tahiti greffée sur *Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* Flying Dragon en fonction de quatre densités. **Fruits**, v. 58, n. 1, p. 13–17, 2003.

TEIXEIRA, J. P. F. et al. Composição química de óleos essenciais de quinze genótipos de limão em duas épocas de colheita. **Citrus Research & Technology**, v. 34, n. 2, 2013.

TURRA, C.; SANTOS, P. S. Characteristics of organic citriculture in Brazil. **European Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 3, p. 113–113, 1 out. 2015.

VIVES-PERIS, V.; GÓMEZ-CADENAS, A.; PÉREZ-CLEMENTE, R. M. Citrus plants exude proline and phytohormones under abiotic stress conditions. **Plant Cell Reports**, v. 36, n. 12, p. 1971–1984, 1 dez. 2017.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. Óleos essenciais. **Artigo publicado no Informativo CRQ-V, ano XI**, v. 11, n. 105, p. 6–7, 2007.

WU, G. A. et al. Genomics of the origin and evolution of Citrus. **Nature**, v. 554, n. 7692, p. 311–316, 15 fev. 2018.

## ANEXOS

**Tabela 1.** Média do rendimento de óleo essencial de dez frutos de lima ácida Tahiti (IAC 10, IAC 5 e BRS EECB IAC Ponta Firme) sobre os porta-enxertos citrandarin IAC 3152 Itajobi e trifoliata IAC 718 Flying Dragon, mantidos sob as duas formas de manejo do solo (Convencional e Ecológica) (Cordeirópolis, 2024).

Manejo	Combinação	Rendimento de óleo (10 frutos) (ml)
Conv	10_152	0,98
	5_152	0,97
	PF_152	0,91
	10_FD	0,86
	5_FD	1,03
	PF_FD	0,93
Eco	10_152	0,91
	5_152	0,76
	PF_152	0,73
	10_FD	1,03
	5_FD	0,8
	PF_FD	0,9

**Tabela 2.** Média do peso da casca de dez frutos de lima ácida Tahiti (IAC 10, IAC 5 e BRS EECB IAC Ponta Firme) sobre os porta-enxertos citrandarin IAC 3152 Itajobi e trifoliata IAC 718 Flying Dragon, mantidos sob as duas formas de manejo do solo (Convencional e Ecológica) (Cordeirópolis, 2024).

<b>Manejo</b>	<b>Combinação</b>	<b>Peso da casca (10 frutos) (g)</b>
<b>Conv</b>	<b>10_152</b>	162,64
	<b>5_152</b>	125,21
	<b>PF_152</b>	117,25
	<b>10_FD</b>	120,04
	<b>5_FD</b>	96,62
	<b>PF_FD</b>	92,51
	<b>Eco</b>	<b>10_152</b>
<b>5_152</b>		119,31
<b>PF_152</b>		104,47
<b>10_FD</b>		186,68
<b>5_FD</b>		106,58
<b>PF_FD</b>		100,31