

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Qualidade do limão Siciliano ‘Limoneira 8A’ cultivado sobre quatro porta-  
enxertos**

**Cesar Augusto Santana**

Dissertação para obtenção do título de Mestre em Ciências.  
Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba  
2023**

**Cesar Augusto Santana**  
**Bacharel em Engenharia Agrônoma**

**Qualidade do limão Siciliano 'Limoneira 8A' cultivado sobre quatro porta-enxertos**  
versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre  
em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba**  
**2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Santana, Cesar Augusto

Qualidade do limão Siciliano 'Limoneira 8A' cultivado sobre quatro porta-enxertos/ Cesar Augusto Santana. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2023.

49 p.

Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Citrus limon* 2. Porta-enxerto 3. Óleo essencial 4. Compostos voláteis I. Título

## DEDICATÓRIA

A minha mãe Rita de Cassia Santin que sempre esteve ao meu lado apoiando, incentivando e nunca mediu esforços para minha criação e educação e ao meu Pai José Santana Filho.

A minha esposa Gabriela Cristina Salgado e a minha filha Luísa.

Ao meu irmão Felipe José Santana pelo apoio e incentivo.

Ao meu avós Pedrinho, Nair, Nenê e Rosa (*in memoriam*) pelo carinho e cuidado.

Aos Tio Zufa e Tia Lucia por serem como pais e estarem sempre me apoiando e me ensinando.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por abençoar a mim e todos que participaram desse trabalho

Ao meu orientador Dr. Angelo Pedro Jacomino pelos ensinamentos, orientação, por acreditar e incentivar para que o trabalho pudesse ser concluído com êxito. Obrigado por aceitar esse desafio e pelo crescimento profissional e pessoal do qual me proporcionou.

A Empresa Agro São José, pelo apoio, financiamento e incentivo para realização do trabalho.

A minha esposa Gabriela pela paciência, apoio, incentivo e todos os ensinamentos.

Aos companheiros da Fazenda São José, Leandro Basso, Alex Sandro Marcelino, Fernando Costa e João Gomes Neto que ajudaram na condução do trabalho.

Ao meu grande amigo Guilherme Baroni pelo grande apoio e ajuda na condução do trabalho.

A Daniela Kharfam e equipe da empresa JBT, pelo total apoio e incentivo.

A Dr, Poliana Spricigo e a Dr. Thais Pádua de Freitas pela contribuição e ensinamentos.

Ao pesquisador Dr. Eduardo Purgatto pela colaboração e permissão da realização de parte deste trabalho em seu laboratório.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite e contribuírem para a melhoria do trabalho.

A Universidade de São Paulo – Escolha Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” pelos ensinamentos e vivência no campus que agregaram muito para meu crescimento pessoal e profissional.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABELAS.....	10
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVO .....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	15
3.1. Limão verdadeiro .....	15
3.2. Cultivares de copa.....	17
3.3. Porta-enxertos .....	18
3.4. Importância da qualidade de limões para mercado interno e externo .....	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1. Caracterização da área de estudo .....	21
4.2. Delineamento experimental.....	22
4.3. Seleção das plantas.....	22
4.4. Colheita dos frutos.....	23
4.5. Avaliações.....	23
4.5.1. Massa e diâmetro do fruto .....	23
4.5.2. Porcentagem do suco no fruto.....	24
4.5.3. Sólidos Solúveis Totais (SST) .....	24
4.5.4. Acidez titulável (AT).....	24
4.5.5. Relação SST/AT (Ratio) .....	24
4.5.6. Índice tecnológico .....	24
4.5.7. Óleo total no fruto .....	24
4.5.8. Limonina no fruto.....	25
4.5.9. Perfil de compostos voláteis do óleo essencial da casca.....	25
4.6. Análise estatística .....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27
5.1. Condições edafoclimáticas.....	27
5.2. Efeito de porta-enxertos na qualidade de limão Siciliano ‘Limoneira 8A’ .....	29
5.3. Efeito de porta-enxertos na produção de compostos voláteis de limão Siciliano ‘Limoneira 8A’ .....	35

6. CONCLUSÃO ..... 43  
REFERÊNCIAS..... 45

## RESUMO

### Qualidade do limão Siciliano 'Limoneira 8A' cultivado sobre quatro porta-enxertos

O suco e o óleo essencial são o produto e o subproduto do limão de maior interesse no mercado. A casca possui maior quantidade de ácido ascórbico, fenóis, flavonoides, carotenoides e açúcares redutores que o suco, demonstrando a importância econômica da casca no processamento industrial de frutas cítricas. Entretanto, a porcentagem de casca que compõe o fruto, o teor de óleo essencial na casca e a quantidade de compostos antioxidantes no óleo podem variar entre as cultivares. O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade física e química dos frutos de limão Siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita no município de Rio Claro, São Paulo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições, em esquema fatorial, no qual foram estudadas 4 cultivares porta-enxerto, sendo elas: 'Flying Dragon'; laranja 'Azeda'; citrumelo 'Swingle' e limão 'Cravo'. Cada repetição foi composta por 10 plantas de limão aleatórias dentro de cada talhão evitando as bordaduras dos talhões. Foram avaliados: massa e diâmetro do fruto, massa do suco, sólidos solúveis (SST), acidez titulável (AT), relação SST/AT, índice tecnológico, óleo total no fruto e o perfil de compostos voláteis do óleo essencial extraído do fruto. As plantas enxertadas em trifoliata 'Flying Dragon' apresentaram os frutos com maiores teores de sólidos solúveis, independente da época de colheita, seguido, em média, pelos porta-enxertos citrumelo 'Swingle', laranja 'Azeda' e limão 'Cravo', respectivamente. Os frutos de plantas enxertadas em limão 'Cravo' e laranja 'Azeda' tiveram as maiores massas médias de frutos seguidos dos frutos sobre os porta-enxertos de trifoliata 'Flying Dragon' e citrumelo 'Swingle' na safra 2020 e 2021. As variáveis acidez titulável, diâmetro dos frutos e massa do suco não apresentaram diferença entre porta-enxertos. Os frutos sobre o porta-enxerto limão 'Cravo' apresentaram o maior teor de limonina seguido pelos frutos sobre laranja 'Azeda', trifoliata 'Flying Dragon' e citrumelo 'Swingle', em ordem decrescente. Os frutos dos porta-enxertos trifoliata 'Flying Dragon', citrumelo 'Swingle' e laranja 'Azeda' apresentam maior relação SST/AT e maior SST, em média, que os frutos sob porta-enxerto limão 'Cravo'. Os frutos das plantas enxertadas no trifoliata 'Flying Dragon' apresentaram melhor índice tecnológico se comparado apenas com citrumelo 'Swingle' na época de colheita temporã 2020 e se comparada aos demais porta-enxertos na safra 2021. Ademais, os frutos da safra 2021 apresentaram melhores índices tecnológicos comparados a safra 2020 e temporão 2020. O óleo no fruto foi maior na colheita da safra 2021, seguido pela safra 2020 e temporão 2020 das plantas enxertadas em trifoliata 'Flying Dragon' e laranja 'Azeda'. Na análise do perfil cromatográfico dos compostos voláteis do óleo essencial do limão foram encontrados 57 compostos voláteis integrantes do aroma do óleo essencial de limão siciliano 'Limoneira 8A'. Os compostos voláteis identificados foram separados em dois grupos. O grupo A contém os compostos detectados em sua maioria nas amostras colhidas na safra 2021 e o grupo B os compostos detectados em sua maioria na colheita da safra 2020 e temporão 2020. Estes resultados demonstram que os fatores climáticos tiveram maior interferências na quantidade dos compostos voláteis do que as variedades de porta-enxertos. Os porta-enxertos têm efeito direto na qualidade do limão siciliano 'Limoneira 8A'. O porta-enxerto 'Flying Dragon' apresentou a melhor qualidade do fruto obtendo maiores teores de SST, e conseqüentemente maior Índice tecnológico e menor teor de limonina no fruto, o que confere uma boa qualidade para o processamento de suco concentrado e para o consumo in natura. As diferentes épocas de colheita afetaram a qualidade dos frutos e a composição dos compostos voláteis do óleo essencial de limão siciliano 'Limoneira 8A'.

Palavras-chave: *Citrus limon*, Porta-enxerto, Óleo essencial



## ABSTRACT

### Quality of Sicilian lemon 'Limoneira 8A' cultivated on four rootstocks.

The juice and essential oil are the lemon product and by-product of greatest interest in the market. The peel has a higher amount of ascorbic acid, phenols, flavonoids, carotenoids and reducing sugars than the juice, demonstrating the economic importance of the peel in the industrial processing of citrus fruits. However, the percentage of peel that makes up the fruit, the essential oil content in the peel and the amount of antioxidant compounds in the oil can vary between cultivars. The objective of this work was to evaluate the physical and chemical quality of Sicilian lemon variety Limoneira 8A fruit on four rootstocks at three harvest times in the city of Rio Claro, São Paulo. The experimental design used was completely randomized with three replications, in a factorial scheme, in which 4 rootstock cultivars were studied, namely: Fly-Dragon; 'Sour' orange; 'Swingle' citrumelo, 'Rangpur' lemon. Each replication consisted of 10 random lemon plants within each plot, avoiding the borders of the plots. The following were evaluated: fruit mass and diameter, juice mass, soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), SST/TA ratio, technological index, total oil in the fruit and the profile of volatile compounds of the essential oil extracted from the fruit. Plants grafted on 'Flying Dragon' trifoliolate presented the fruits with the highest levels of soluble solids, regardless of harvest time, followed, on average, by rootstocks citrumelo 'Swingle', 'Sour' orange and lemon 'Rangpur', respectively. The fruits of plants grafted on 'Rangpur' lemon and 'Sour' orange had the highest average fruit mass followed by fruits on 'Flying Dragon' trifoliolate and 'Swingle' citrumelo rootstocks in the 2020 and 2021 harvest. Fruit diameter and juice mass showed no difference between rootstocks. Fruits on 'Rangpur' lemon rootstock showed the highest limonin content, followed by fruits on 'Sour' orange, 'Flying Dragon' trifoliolate and 'Swingle' citrumelo, in descending order. The fruits of 'Flying Dragon' trifoliolate, 'Swingle' citrumelo and 'Sour' orange rootstocks have a higher TSS/TA ratio and higher TSS, on average, than fruits on 'Rangpur' lemon rootstock. The fruits of the plants grafted on 'Flying Dragon' trifoliolate showed a better technological index when compared only with 'Swingle' citrumelo in the early harvest season 2020 and compared to the other rootstocks in the 2021 harvest. better technological indices compared to the 2020 and early 2020 harvest. The oil in the fruit was higher in the 2021 harvest, followed by the 2020 and early 2020 harvest of plants grafted on 'Flying Dragon' trifoliolate and 'Sour' orange. In the analysis of the chromatographic profile of the volatile compounds of the essential oil of Lemon, 57 volatile compounds were found that are part of the aroma of the essential oil of Sicilian lemon of the variety Limoneira 8A. The identified volatile compounds were separated into two groups. Group A contains the compounds mostly detected in the samples collected in the 2021 harvest and group B contains the compounds mostly detected in the 2020 and early 2020 harvests. These results demonstrate that climatic factors had greater interference in the amount of volatile compounds than rootstock varieties. The rootstocks have a direct effect on the quality of Sicilian lemon of the scion variety Limoneira 8A. The 'Flying Dragon' rootstock showed the best quality of the fruit, obtaining higher levels of TSS, and consequently a higher technological index and lower limonin content in the fruit, which confers a good quality for the processing of concentrated juice and for consumption. in natura. The different harvest times affected the quality of the fruits and the composition of volatile compounds in the essential oil of Sicilian lemon of the variety Limoneira 8A.

Keywords: *Citrus limon*, Rootstock, Essential oil

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Genealogia dos principais genótipos de citros. As cinco espécies progenitoras são mostradas no topo. As linhas azuis representam cruzamentos simples entre dois genótipos parentais, enquanto as linhas vermelhas representam processos mais complexos envolvendo múltiplos indivíduos, gerações e/ou retrocruzamentos. (Adaptada de WU et al., 2018) ..... 15
- Figura 2. Planta de limão siciliano ‘Limoneira 8A’. (Imagem do autor, 2020)..... 16
- Figura 3. Fruto de limão siciliano ‘Limoneira 8A’. (Imagem do autor, 2020) ..... 17
- Figura 4. Localização da área experimental. .... 21
- Figura 5. Imagem dos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita coletados e separados por tratamento para a realização das avaliações. Safra 2020 (A), temporã 2020 (B) e safra 2021 (C). ..... 23
- Figura 6. Fluxograma com imagens do processamento dos frutos para extração do óleo essencial de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta enxertos, em três épocas de colheita. Foto tiradas na planta piloto da JBT, em Araraquara, no processamento dos frutos colhidos em março de 2021. .... 26
- Figura 7. Dados meteorológicos de outubro de 2019 a julho de 2021. Período da florada da Safra 2020 até a colheita da Safra 2021 ..... 27
- Figura 8. Acidez titulável (A), teor de limonina (B), relação entre teor de sólidos solúveis e de acidez titulável (C), porcentagem de suco (D) e diâmetro do fruto (E) de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta enxertos, em três épocas de colheita. Cada barra representa a média dos resultados em cada época de colheita dos 4 porta enxertos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey,  $p < 0,5$ ..... 31
- Figura 9. Teor de limonina (mg.L<sup>-1</sup>) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey,  $p < 0,05$ ..... 33
- Figura 10. Relação do teor de sólidos solúveis e acidez titulável (SST/AT) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. Médias seguidas de mesma letra entre si não diferem entre si (Teste F,  $p < 0,05$ )..... 33
- Figura 11. Análise multivariada dos componentes principais (PCA) dos compostos voláteis emitidos pelos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. .... 39
- Figura 12. Análise de agrupamento Hierárquico e Heatmap dos compostos voláteis emitidos pelos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita, onde as cores vermelha e azul indicam altos e baixos níveis dos compostos, respectivamente. .... 40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variedades de porta-enxertos sob limão siciliano ‘Limoneira 8A’ .....	22
Tabela 2. Características físicas do solo da área de cada parcela experimental de limão-siciliano. ....	28
Tabela 3. Características químicas do solo da área de cada parcela experimental de limão-siciliano. ....	29
Tabela 4. Teor de sólidos solúveis totais (%) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. ....	29
Tabela 5. Massa dos frutos (kg.frutos-1) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita .....	30
Tabela 6. Índice tecnológico dos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre porta-enxertos em três épocas de colheita. ....	34
Tabela 7. Teor de óleo total (gramas.caixa de 40,8kg-1) no fruto de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre porta-enxertos em três épocas de colheita. ....	35
Tabela 8. Descrição dos 57 compostos voláteis emitidos em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. NC – Número do composto; CAS – número de registro único no banco de dados do Chemical Abstract Service, divisão da Chemical American Society. N.E - informações não encontradas na literatura, LC - limão ‘Cravo’ ( <i>C. limonia</i> Osbeck cv. Cravo), CSW - citrumelo ‘Swingle’ ( <i>C. paradisi</i> x <i>Poncirus trifoliata</i> ), LA - laranja ‘Azeda’ ( <i>C. aurantium</i> L.) e FD - ‘Flying Dragon’ [ <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf. var. monstrosa]. ....	36
Tabela 9. Quantidade de compostos voláteis emitidos pelos frutos limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita separados por família química e em cada tratamento. LC - limão ‘Cravo’ ( <i>C. limonia</i> Osbeck cv. Cravo), CSW - citrumelo ‘Swingle’ ( <i>C. paradisi</i> x <i>Poncirus trifoliata</i> ), LA - laranja ‘Azeda’ ( <i>C. aurantium</i> L.) e FD - ‘Flying Dragon’ [ <i>Poncirus trifoliata</i> (L.) Raf. var. monstrosa].....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Citrus*, que inclui as laranjas, limões, tangerinas entre outros, pertencente à família Rutaceae, e são os frutos mais produzidos no mundo, (GUIMARÃES et al., 2010). O limão verdadeiro, mais comumente chamado de limão siciliano no Brasil [*Citrus limon* (L.) Burm.f.] é produzido para diversas finalidades como para alimentação humana, consumo ‘in natura’, produção industrial sendo elas alimentícia, farmacêutica, cosméticas e limpeza (GUIMARÃES et al., 2010; KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ; SZOPA; EKIERT, 2020).

No mundo, no ano de 2021, foram produzidos cerca de 161,8 mi de toneladas de frutas cítricas, sendo o Brasil o segundo maior produtor com 18,9 mi de toneladas, aproximadamente. (FAO, 2021).

A produção de limões e limas no mundo cresceu cerca de 38% entre os anos de 2012 e 2021, partindo de 15 mi de toneladas, aproximadamente, para mais de 20 mi toneladas, respectivamente. Sendo os principais produtores a Índia, China, México, Argentina e Brasil (FAO, 2021). Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) (2019), os maiores produtores de limão siciliano são o México, a Argentina, a União Europeia (destaque para Espanha) e a Turquia.

De acordo com Ciriminna et al. (2020), a grande demanda por produtos naturais nos alimentos, bebidas, cosméticos e produtos nutracêuticos tem feito com que a demanda por limão crescesse constantemente. O suco e o óleo essencial do limão, gerados a partir do processamento industrial, são os produtos de maior interesse no mercado. O limão é um fruto essencial na alimentação humana pois possui ácido cítrico, ácido ascórbico, flavonoides, fenóis e minerais que são antioxidantes importantes para o funcionamento do organismo (GONZALES-MOLINA et al., 2010; RAMFUL et al., 2011). O consumo de citrus está relacionado com a redução do colesterol, de doenças cardiovasculares, da obesidade, dos riscos de câncer e auxilia no controle da pressão sanguínea (GONZALES-MOLINA et al., 2010; KHAN et al., 2010; MOTA, 2016; NAKAJIMA; MACEDO; MACEDO, 2014). O óleo essencial que são compostos aromáticos e voláteis presentes em várias partes das plantas possuem ação antimicrobiana e antioxidante muito requerido na indústria farmacêutica e de produtos de limpeza (CIRIMINNA et al., 2020; DHANAVADE et al., 2011; GONZALES-MOLINA et al., 2010). Os principais componentes dos óleos essenciais são os monoterpenos como D-limonene (73%), seguido pelo  $\beta$ -Pinene (8%),  $\gamma$ -Terpinene (7,5%),  $\beta$ -Myrcene (1,5%) e  $\alpha$ -Pinene (1,2%) (FERHAT; MEKLATI; CHEMAT, 2007; MOOSAVY et al., 2017).

A casca mais o bagaço representam 50% do peso do fruto do limão, aproximadamente, sendo que a casca pode conter de 0,05 a 5% de óleo essencial (CIRIMINNA et al., 2020; GONZALES-MOLINA et al., 2010). De acordo com Guimarães et al. (2010), a casca do limão possui maior quantidade de ácido ascórbico, fenóis, flavonoides, carotenoides e açúcares redutores que o suco, demonstrando a importância econômica da casca frente a indústria. Entretanto, a porcentagem de casca que compõe o fruto e óleo essencial e a quantidade de compostos antioxidantes que contém nele podem variar entre as cultivares.

A genética da planta de citros influencia nos aspectos físicos (tamanho, cor, espessura da casca) e químicos (teor de nutrientes, antioxidantes, óleos essenciais) dos frutos. Na citricultura, cada planta é composta por dois materiais genéticos distintos, a copa e o porta-enxerto. O uso de porta-enxerto permitiu com que os agricultores tivessem uma produção mais lucrativa frente a fatores limitantes, tais como clima, solo, pragas e doenças (YILDIRIM et al., 2010). O porta-enxerto tem grande influência na copa da planta em termos de crescimento vegetativo, floração, no acúmulo de nutrientes e na qualidade dos frutos (DUBEY; SHARMA, 2016; GONZÁLEZ-MOLINA; MORENO; GARCÍA-VIGUERA, 2008; MARTINEZ-CUENCA; QUININES; FORNER-GINER,

2016; HIPPLERA et al., 2016). De acordo com Gil-Izquierdo et al. (2004), o porta-enxerto foi o fator agrônômico que mais influenciou o teor de flavonoides no suco de limão. Outro estudo testou o limão 'Kagzi Kalan' em oito porta-enxertos e verificou que o porta-enxerto RLC-4 produziu frutos com maior massa, maior porcentagem de suco, melhor teor de sólidos solúveis e ácidos no suco e ainda maior teor de ácido ascórbico (DUBEY; SHARMA, 2016).

No Brasil as variedades de copa de limão mais cultivadas são 'Eureka', 'Feminele' e 'Lisboa' e os porta-enxertos mais utilizados são: citrumelo 'Swingle' (*Citrus paraisi* x *Poncirus trifoliata*), laranja 'Azeda' (*Citrus aurantium* L.) e 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* L.). A cultivar Lisboa, juntamente com a cultivar Eureka, são as mais cultivadas nas Américas (Pio et al., 2005). Entretanto, no Brasil não se tem um levantamento preciso das combinações de copa e porta-enxerto mais cultivadas devido à baixa importância relativa da produção quando comparado com a produção de outras frutas cítricas como laranja doce [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] e lima ácida Tahiti *C. latifolia* (Yu. Tanaka) Tanaka.

O Brasil tem um grande potencial de produção de citros e, devido ao aumento da demanda por limão siciliano, tem surgido a necessidade de maiores estudos sobre a influência dos porta-enxertos na produtividade e na qualidade física e química dos limões nas condições deste país. Sendo assim, hipotetizamos que as diferentes combinações de porta-enxerto influenciam na qualidade física e química da variedade de copa do limão siciliano.

## **2. OBJETIVO**

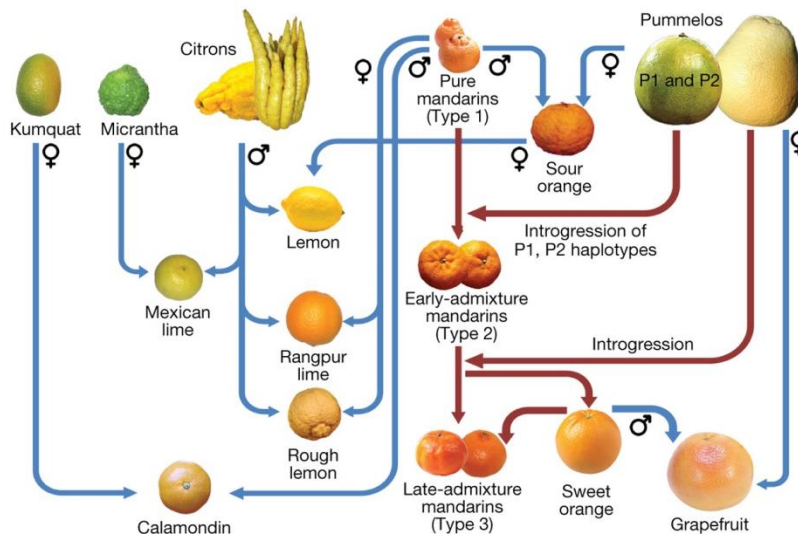
O objetivo do trabalho foi avaliar a qualidade de limão siciliano 'Limoneira 8A' enxertado em diferentes porta-enxertos e em diferentes épocas de colheita, cultivado no município de Rio Claro, São Paulo.



### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Limão verdadeiro

O limão verdadeiro ou limão siciliano [*Citrus limon* (L.) Burm.f.] pertence à família Rutaceae (DONADIO, MOURAO FILHO, MOREIRA, 2005). Há diversas controvérsias históricas e taxonômicas em relação a origem das espécies do gênero *Citrus*, incluindo os limões e as limas (CURK et al., 2016). De acordo com estudo baseado em genômica, filogenética e biogeografia, o gênero *Citrus*, teve sua origem na base do sudoeste do Himalaia, em uma região que inclui o leste de Assam, norte de Myanmar e oeste de Yunnan (WU et al., 2018). Segundo os mesmos autores, o grupo dos limões e limas possui uma base heterozigótica maior (interespecífica), ou seja, são híbridos envolvendo três principais espécies, cidras (*C. medica*), tangerinas (*C. reticulata*) e pomelos (*C. maxima*), mas algumas cultivares também possuem um quarto ancestral o *C. micrantha* (CURK et al., 2016) (Figura 1). Os limões e as limas são classificados em duas espécies diferentes, sendo *Citrus limon* (L.) Burm.f. e *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing, respectivamente (CURK et al., 2016; NONINO, 1997). Entretanto, de acordo com Curk et al. (2016), esta classificação não reflete corretamente a organização genética devido à alta heterozigosidade interespecífica do grupo.



**Figura 1.** Genealogia dos principais genótipos de citros. As cinco espécies progenitoras são mostradas no topo. As linhas azuis representam cruzamentos simples entre dois genótipos parentais, enquanto as linhas vermelhas representam processos mais complexos envolvendo múltiplos indivíduos, gerações e/ou retrocruzamentos. (Adaptada de WU et al., 2018)

Os limões e as limas são cultivados em regiões tropicais e temperadas há mais de 2.000 mil anos (CURK et al., 2016). De acordo com Pio et al. (2005), os limões foram introduzidos na Europa por volta do século XI e na América do Norte no ano de 1943 por Colombo. Posteriormente, sendo disseminados para os demais países da Américas. Há relatos que o limão foi introduzido no Brasil em 1.549 por missionários jesuítas e se espalhou rapidamente pelo litoral, sendo São Paulo, Rio de Janeiro e Bahia os estados onde a citricultura se fixou (DONADIO, MOURAO FILHO, MOREIRA, 2005; PIO et al., 2005).





**Figura 2.** Planta de limão siciliano 'Limoneira 8A'. (Imagem do autor, 2020)

O limoeiro tem hábito de crescimento ereto, vigoroso e expansivo, com suas folhas de formato oval. As suas flores e brotações tem tom roxo púrpureo (PIO et al., 2005; ALVES, 1986).



**Figura 3.** Fruto de limão siciliano ‘Limoneira 8A’. (Imagem do autor, 2020)

Os frutos são oblongos elipsoides, mais alongados em relação aos frutos de laranja, casca grossa e com vesículas de óleos grandes e de cor amarela quando maduro. A massa do fruto pode chegar a aproximadamente 220 gramas. (PIO et al., 2005; ALVES, 1986).

De acordo com o censo agropecuário realizado pelo IBGE (2021) o Brasil produziu cerca de 1,5 mi de toneladas de limas ácidas e limões, chegando a um valor de produção de aproximadamente R\$1,49mi. Em levantamento realizado pela FUNDECITRUS (2022), a área de pomares de limas ácidas e limões atingiu 51.809 hectares no cinturão citrícola que abrange o estado de São Paulo e o Triângulo Mineiro/Sudoeste Mineiro. A área de limão siciliano que em 2015 era de 3.577 hectares chegou a 5.680 hectares com 2.846.850 plantas no ano de 2022.

### 3.2. Cultivares de copa

No Brasil os limões das espécies *Citrus limon* são conhecidos como limão “Siciliano” devido a cultivar ‘Bearss’ que atualmente é pouco cultivada, assim o termo acaba englobando uma série de seleções dentro das demais cultivares de limão verdadeiro cultivadas no Brasil.

A cultivar ‘Lisboa’, juntamente com a cultivar Eureka, são as mais cultivadas nas Américas. A cultivar Eureka, mais plantada nos principais produtores de limão siciliano mundo, apresenta um porte menor em relação a cultivar ‘Lisboa’, com plantas menos enfolhadas e com menos espinhos que as demais cultivares. Os frutos são distribuídos em sua maioria na parte externa das plantas, com tamanho médio, variando entre 144 e 178 gramas como estudado por (FIGUEIREDO et al., 2005), com produção distribuída no inverno, primavera e início do verão. A cultivar ‘Lisboa’ apresenta porte médio, folhagem densa e bastante espinhos. Apresenta também alta produtividade concentrada nos meses de outono e inverno. Os frutos são distribuídos na parte interna das plantas, muito parecidos com os frutos da cultivar Eureka se diferenciando apenas pela casca mais rugosa. (PIO et al., 2005). Limoneira 8A é uma seleção da variedade ‘Lisboa’, sendo mais produtivo, vigoroso e com maior rendimento em óleo de casca que a variedade ‘Lisboa’ (BARRY; CARUSO; GMITTER, 2020).

### 3.3. Porta-enxertos

O porta-enxerto é constituído por parte do tronco e todo o sistema radicular, sendo responsável pela sustentação física, absorção de água e nutrientes e sínteses de hormônios. Além disso, é capaz de influenciar as características hortícolas como vigor da planta, qualidade dos frutos, tolerância a estresses abióticos e resistências ou tolerâncias a doenças. A escolha de um porta-enxerto adequado pode propiciar frutos de melhor qualidade, de tamanho adequado de acordo com o mercado destinado, e em épocas cujos preços de mercados estão melhores para o produtor. (CARLOS; STUCHI; DONADIO, 1997).

Segundo a Coordenadoria de Defesa Agropecuária, o limão ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck cv. Cravo) ainda hoje é o porta-enxerto mais utilizado na cultura do limão siciliano, sendo mais de 40% das plantas de limão siciliano enxertadas no limão ‘Cravo’. Devido a sua tolerância ao estresse hídrico, tem melhor desempenho em solos arenosos e profundos, compatibilidade com todas as cultivares de copas, alto vigor, bom pegamento de mudas no plantio, alta produção, além de precocidade e qualidade regular dos frutos. Apesar de ser tolerante ao vírus da tristeza dos citros, é suscetível a outras doenças como a morte súbita dos citros, declínio, gomose de *Phytophthora* e nematoides (POMPEU JUNIOR, 2005).

O citrumelo ‘Swingle’ (*C. paradisi* x *Poncirus trifoliata*), é um híbrido de trifoliata com pomelo. Tem como características ser resistente a gomose de *Phytophthora*, nematoide dos citros, morte súbita dos citros e declínio. Produz frutos com boa qualidade, de tamanho médio e altos teores de sólidos solúveis. Como característica desfavorável apresenta incompatibilidade com cultivares de laranja Pêra e tangor Murcott, principais cultivares de copa no Brasil e bastante susceptíveis à deficiência hídrica (CARLOS; STUCHI; DONADIO, 1997; POMPEU JUNIOR, 2005).

A laranja ‘Azeda’ (*C. aurantium* L.) foi o principal porta-enxerto da citricultura mundial até o surgimento da tristeza dos citros. Hoje só serve como porta-enxerto para limões sicilianos. Resistente à gomose de *Phytophthora* e a baixas temperaturas, também apresenta boa adaptação a vários tipos de solo, induzindo alta produção e frutos de ótima qualidade e alto teor de sólidos solúveis e acidez (CARLOS; STUCHI; DONADIO, 1997; POMPEU JUNIOR, 2005).

O porta-enxerto ‘Flying Dragon’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. var. monstrosa], surgido no Japão, é o único porta-enxerto considerado geneticamente ananicante, o qual, independente das condições edafoclimáticas, expressa o nanismo nas plantas. As demais cultivares de *Poncirus trifoliata* apresentam potencial ananicante, podendo ou não ser expresso dependendo da cultivar da copa e das condições edafoclimáticas. As plantas enxertadas em trifoliata ‘Flying Dragon’ não passam de três metros de altura, com alta produtividade e boa qualidade dos frutos. Como característica desfavorável, esse porta-enxerto é incompatível com a cultivar de laranja Pêra e a alta suscetibilidade ao estresse hídrico (POMPEU JUNIOR, 2005; STUCHI et al., 2012).

### 3.4. Importância da qualidade de limões para mercado interno e externo

A produção de limão siciliano vem crescendo nos últimos anos como uma alternativa rentável às empresas, as quais se beneficiam com os produtos e subprodutos. O fruto de limão siciliano tem uma grande importância na alimentação humana, pois, possui ácido cítrico, ácido ascórbico, flavonoides, fenóis e minerais, que são antioxidantes importantes para o funcionamento do organismo (GONZALES-MOLINA et al., 2010; RAMFUL et al., 2011). O consumo de citros está relacionado com a redução do colesterol, de doenças cardiovasculares, da obesidade e do risco de câncer, além de auxiliar no controle da pressão sanguínea (GONZALES-MOLINA et al.,

2010; KHAN et al., 2010; MOTA, 2016; NAKAJIMA; MACEDO; MACEDO, 2014). O sabor e a palatabilidade das frutas cítricas são uma função dos níveis relativos de sólidos solúveis, ácidos orgânicos e da presença ou ausência de vários constituintes aromáticos ou amargos do suco. Os óleos essenciais, que são compostos aromáticos e voláteis presentes em várias partes das plantas, possuem ação antimicrobiana e antioxidante, sendo muito requerido na indústria farmacêutica e de produtos de limpeza (CIRIMINNA et al., 2020; DHANAVADE et al., 2011; GONZALES-MOLINA et al., 2010). Os principais componentes dos óleos essenciais são os monoterpenos como *D*-limonene (73%), seguido pelo  $\beta$ -Pinene (8%),  $\gamma$ -Terpinene (7,5%),  $\beta$ -Myrcene (1,5%) e  $\alpha$ -Pinene (1,2%) (FERHAT; MEKLATI; CHEMAT, 2007; MOOSAVY et al., 2017).

A limonina é conhecida por causar amargor tardio nos sucos cítricos, é um derivado tri-terpênico oxigenado que ocorre como agliconas e glicosídeos e são encontrados em sementes e frutos cítricos. Já foram isolados cerca de 36 agliconas limonóides dos *Citrus* e seus híbridos, dos quais seis dessas agliconas limonóides tem poder de causar amargor tardio no suco e a limonina é o mais abundante nos frutos cítricos entre as agliconas limonóides (GUALDANI et al., 2016).



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Caracterização da área de estudo

O trabalho foi conduzido em uma propriedade citrícola localizada no município de Rio Claro - SP, região centro-leste do Estado de São Paulo, ou região Sul do cinturão citrícola de SP e MG, nas posições geográficas 22°18'23.79" latitude sul e 47°31'3.04" longitude oeste e altitude média de 640 m acima do nível do mar, no período de julho de 2020 a julho de 2021

O clima da região, segundo o sistema de Köppen, é do tipo Cwa, mesotérmico, com verões quentes e úmidos e invernos secos.

Dados de temperatura do ar foram registrados a cada hora por meio de uma estação meteorológica Vantage Pro2 Davis Wireless (Davis Instruments – Hayward – Estados Unidos) instalada a 5,5 km de distância da área experimental. Os dados pluviométricos foram medidos por pluviômetro Davis Standard 7852 (Davis Instruments – Hayward – Estados Unidos), instalado a 300 m da área experimental.

O experimento foi conduzido em campo envolvendo plantas de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre os porta-enxertos de limão ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck cv. Cravo), citrumelo ‘Swingle’ (*C. paradisi* x *Poncirus trifoliata*), laranja ‘Azeda’ (*C. aurantium* L.) e o trifoliata ‘Flying Dragon’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. var. monstrosa] plantadas entre novembro de 2010 e janeiro de 2011 com orientação azimutal de 202°17’ das linhas de plantio. O pomar de limão é constituído por uma área contínua de 552 hectares. A área experimental está localizada no centro dos talhões denominados como 01, 03, 11 e 15 para evitar possíveis interferências de efeitos de bordadura (Figura 4).



Figura 4. Localização da área experimental.

Foi realizada coleta de solo em cada parcela experimental, visando caracterizar as propriedades físicas e químicas do solo. As análises físicas foram realizadas no laboratório de física do solo do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e foram determinadas pelo método de pipeta (DE CAMARGO et al., 2009) e as análises químicas realizadas pelo AGRILAB Laboratório de Análises Agrícolas e Ambientais Ltda. As metodologias de cada variável química estão descritas abaixo:

- Determinação de pH em Cloreto de Cálcio. (RAIJ et al., 2001)
- Determinação de Matéria Orgânica por Colorimetria. (RAIJ et al., 2001)
- Determinação de Fósforo por Espectrofotometria extraído com resina trocadora de íons. (RAIJ et al., 2001)
- Determinação de Acidez Total (H+Al) com solução tampão SMP. (RAIJ et al., 2001)
- Determinação de Cálcio, Magnésio e Potássio por Espectrofotometria de Absorção Atômica extraído com Cloreto de Amônio. (RAIJ et al., 2001)
- Determinação da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) por meio de cálculo. (SILVA, 2009)
- Determinação da saturação por bases (V%) por meio de cálculo, expressa em percentagem (SILVA, 2009)

## 4.2. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente ao acaso com três repetições e em esquema fatorial, no qual foram estudadas 4 variedades de porta-enxerto sob limão siciliano 'Limoneira 8A' (Tabela 1). Cada repetição foi composta por 10 plantas de limão aleatórias dentro de cada talhão evitando as bordaduras dos talhões.

**Tabela 1.** Variedades de porta-enxertos sob limão siciliano 'Limoneira 8A'.

Tratamento	Talhão	Porta-enxerto	Plantio
T1	01	trifoliata 'Flying Dragon'	23/11/2010
T2	15	laranja 'Azeda'	10/01/2011
T3	11	citrumelo 'Swingle'	27/01/2011
T4	03	limão 'Cravo'	01/12/2010

## 4.3. Seleção das plantas

As plantas foram selecionadas por meio de sorteio, tanto na posição da rua quanto na posição da planta (Rua X, Planta Y). Foram selecionadas somente plantas saudáveis, sem planta erradicada ao lado e não foram selecionadas replantas. Caso a planta selecionada apresentasse alguma das características descritas anteriormente, a mesma era descartada da seleção e selecionada a segunda planta a seguir. Caso as condições anteriores se repetissem, o procedimento era repetido até não ter nenhuma das condições citadas. As plantas foram marcadas com fitas e numeradas para facilitar a localização no momento da avaliação. Além disso, no início de cada rua de plantio foi colocada uma placa informando o número da linha de plantio e a posição das plantas selecionadas para facilitar a identificação delas.

#### 4.4. Colheita dos frutos

De cada planta foram amostrados 20 frutos de forma a representar todos os quadrantes da copa da planta (superior, inferior, leste, oeste, norte e sul), totalizando 200 frutos por repetição (Figura 5). Os frutos foram colhidos maduros, na cor amarela, sem ataque de pragas e/ou sintomas de doenças. Os frutos de cada parcela foram misturados e em seguida retirou-se uma amostra com 140 frutos aleatórios para a realização das análises de balanço de massa e coleta das amostras de suco para as demais análises. Uma amostra com 60 frutos foi utilizada para a extração do óleo essencial.

A primeira colheita foi realizada no dia 27 de julho de 2020, denominada como safra 2020, a segunda colheita, temporã 2020 foi realizada no dia 13 de março de 2021. A época habitual para colheita temporã é nos meses de outubro a dezembro, mas devido às condições climáticas desfavoráveis a produção desses frutos foi tardia. A colheita da safra 2021 foi realizada no dia 25 de julho de 2021.



**Figura 5.** Imagem dos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita coletados e separados por tratamento para a realização das avaliações. Safra 2020 (A), temporã 2020 (B) e safra 2021 (C).

#### 4.5. Avaliações

As análises laboratoriais foram realizadas em duas etapas. Na planta piloto da empresa John Bean Technologies Corporation em Araraquara (SP) foram realizadas as análises físico-químicas dos limões e a extração do óleo essencial do fruto. No Departamento de Alimentos e Nutrição Experimental/FoRC - Food Research Center da Faculdade de Ciências Farmacêuticas – USP em São Paulo (SP), foi determinado o perfil cromatográfico dos compostos voláteis dos óleos essenciais.

##### 4.5.1. Massa e diâmetro do fruto

Foram coletados aleatoriamente 20 dos 140 frutos colhidos por parcela e pesados em balança de precisão para determinação da massa média do fruto. Posteriormente, foi medido o diâmetro dos frutos com auxílio de um paquímetro.



#### 4.5.2. Porcentagem do suco no fruto

Para calcular a porcentagem de suco, foram pesados todos os frutos de cada repetição e posteriormente extraído o suco de cada amostras e pesado. O resultado foi a relação entre o peso do suco e o peso total da amostra.

$$(\%)_{suco} = \frac{\text{massa do suco (kg)}}{\text{massa da amostra (kg)}}$$

#### 4.5.3. Sólidos Solúveis Totais (SST)

O teor de sólidos solúveis do suco de cada repetição foi determinado por leitura direta em refratômetro digital modelo ATAGO RX-5000a (AOAC, 2012), expressos em porcentagem (%).

#### 4.5.4. Acidez titulável (AT)

A determinação da acidez foi realizada utilizando o método de titulação descrito pelo IAL (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Foram amostrados 25 ml do suco de cada amostra, em seguida o suco foi titulado com solução de NaOH à 1 N até atingir o pH de 8,1, expressos em porcentagem de ácido cítrico (% ac. cítrico).

#### 4.5.5. Relação SST/AT (Ratio)

A relação SST/AT foi calculado dividindo o SST pela AT, obtido pelos métodos descritos nos tópicos 4.5.4 e 4.5.5.

#### 4.5.6. Índice tecnológico

O Índice tecnológico foi calculado pela fórmula:

$$IT = \frac{(RS * SST * 40,8)}{10.000}$$

Sendo, o rendimento do suco RS, a quantidade de sólidos solúveis (SST), em uma caixa de frutos de 40,8 kg, expressos em kg SST caixa<sup>-1</sup> (DI GIORGI et al., 1990).

#### 4.5.7. Óleo total no fruto

O resultado foi obtido sendo realizado uma adaptação do método Scott que consistiu em selecionar 16 frutos de cada amostra, cortando os frutos em 4 partes iguais e selecionando uma parte de cada fruto. Essas partes selecionadas dos 16 frutos foram pesadas e em um recipiente foi colocado o mesmo peso em água destilada e triturado tudo em liquidificador durante 5 minutos em baixa rotação e mais 2 minutos em alta rotação. Após realizada a trituração homogênea, foi pesado 5g do emulsionado e colocado em balão volumétrico, adicionado 25

mL de álcool isopropílico e 20 mL de água destilada e o preparado foi destilado. Em um erlenmeyer, foi coletado 30 mL do destilado, adicionado 10 mL de ácido clorídrico 1/2 e uma gota de alaranjado de metila 0,1%. A solução foi titulada com brometo-bromato de potássio 0,0247 mol/L até a viragem (Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990).

#### **4.5.8. Limonina no fruto**

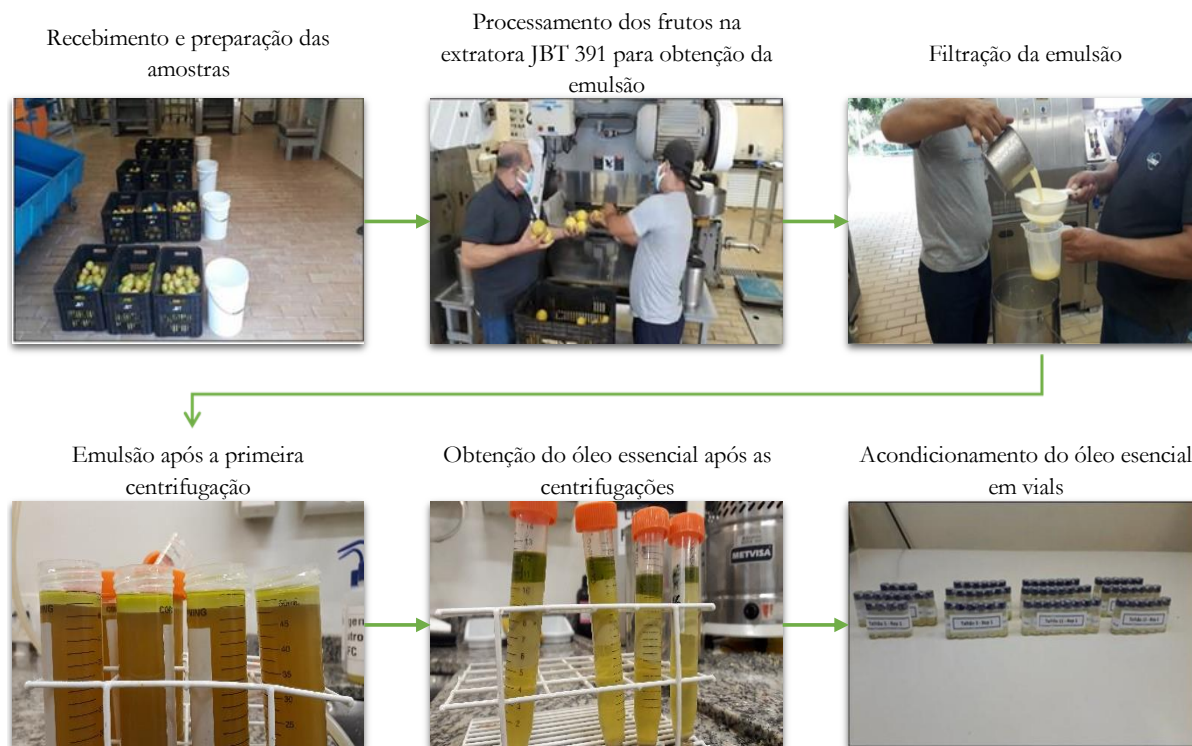
O teor de limonina no fruto foi obtido utilizando um cromatógrafo HPLC de modelo Agilent 1260 Infinity II, através do método de extração descrito por Shaw, P.E. e Wilson, C.W. (1984) onde uma amostra de 60 mL de suco de cada repetição foi filtrada manualmente, aquecida em banho-maria fervente por 3 a 5 minutos e separado 25 mL de cada amostra e centrifugado a 2500 g por 10 minutos. Posteriormente foram seguidos os procedimentos descritos no método e configurado o sistema HPLC em:

- Taxa de fluxo = 1,5 ml/minuto
- Comprimento de onda de detecção = 210nm
- Tempo de execução = 10 minutos

Após realizar os cálculos, também descritos no método, os resultados foram expressos em mg L<sup>-1</sup>.

#### **4.5.9. Perfil de compostos voláteis do óleo essencial da casca**

Para a extração do óleo essencial, as amostras com 60 frutos de cada repetição foram processadas com água em extratora JBT 391, com configuração padrão para suco concentrado, para obtenção de uma emulsão com água mais óleo. A separação foi feita em uma centrífuga Hermle Z 383, a uma rotação de 5.000 RPM durante 5 minutos, sendo repetido o processo por duas vezes consecutivas (Figura 6).



**Figura 6.** Fluxograma com imagens do processamento dos frutos para extração do óleo essencial de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta enxertos, em três épocas de colheita. Foto tiradas na planta piloto da JBT, em Araraquara, no processamento dos frutos colhidos em março de 2021.

As amostras de óleo foram analisadas de acordo com o método de micro extração em fase sólida (SPME, do inglês Solid Phase Microextraction). Uma fibra de SPME (divinilbenzeno, carboxeno e polydimethylsiloxane de 50/30  $\mu\text{m}$ , Supelco, Inc.) foi introduzida no headspace do vial da amostra e exposta por 50 min. Uma vez capturados, os compostos voláteis foram desorvidos da fibra pela exposição ao calor do injetor do cromatógrafo (200  $^{\circ}\text{C}$ ) durante 5 minutos. Foi utilizado um cromatógrafo Hewlett-Packard (HP), modelo 6890, acoplado a um detector seletivo de massas HP modelo 5973. A coluna cromatográfica empregada foi a Supelcowax 10 (30 m, 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25  $\mu\text{m}$  de espessura do filme). O programa de temperatura utilizado foi: rampa de temperatura de 2  $^{\circ}\text{C min}^{-1}$  de 40 $^{\circ}\text{C}$  à 150 $^{\circ}\text{C}$ . A temperatura da interface entre o cromatógrafo e o detector seletivo de massas foi de 230 $^{\circ}\text{C}$  e a ionização feita por impacto de elétrons (70 eV) com a fonte de íons mantida a 150 $^{\circ}\text{C}$ . Os espectros de massas obtidos foram comparados com os da biblioteca NIST versão 2011 (SILVA et al., 2019).

#### 4.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância através do Programa R Core Team (2020). O nível de significância adotado para a análise de variância foi de 5% ( $p < 0,05$ ). Foram estudados os efeitos principais e a interação entre as variedades de porta-enxerto e as épocas de colheita. As médias dos efeitos principais e das respectivas interações, quando significativas, foram comparadas pelo Teste de Tukey.

Os dados de compostos voláteis do óleo essencial de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita foram submetidos a análise multivariada de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico e heatmap no programa Metaboanalyst 3.0.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Condições edafoclimáticas

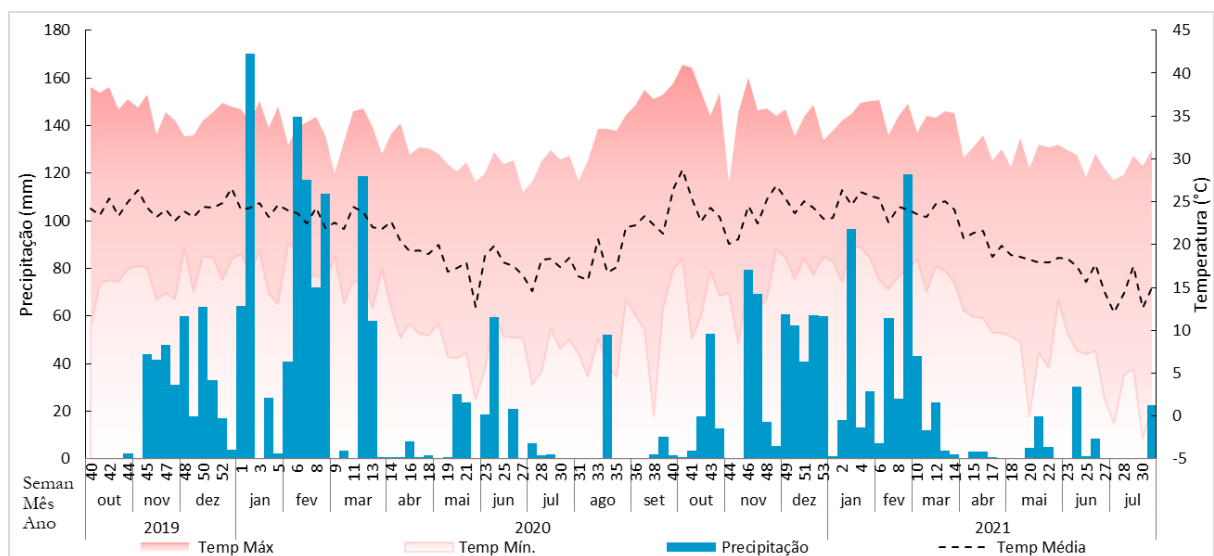
As normais climatológicas anuais do local do presente estudo, de acordo com classificação climática de Köppen, descritas por Alvares et al., (2013) é de precipitação pluviométrica de 1.414 mm, temperatura média de 21,1°C, velocidade do vento 1,44 m/s e umidade relativa de 68,6%.

Na safra 2020, que teve início em novembro de 2019, com a antese da florada e término quando realizada a colheita dos frutos em julho de 2020, houve precipitação pluviométrica acumulada de 1.460 mm, temperatura média de 21,2°C, média das temperaturas mínimas de 9,9°C e média das temperaturas máximas de 34,2°C. Na época dos frutos temporãos 2020, de maio de 2020 a fevereiro de 2021, houve precipitação pluviométrica acumulada de 1.127 mm, temperatura média de 21,5°C, média das temperaturas mínimas de 8,95°C e média das temperaturas máximas de 35,7°C. Na safra 2021, que teve início em outubro de 2020 e termino em julho de 2021, a precipitação pluviométrica acumulada foi de 1.083 mm, temperatura média de 21,6°C, média das temperaturas mínimas de 9,3°C e média das temperaturas máximas de 35,2°C

Em relação a temperatura do ar, as médias durante o ciclo de desenvolvimento do limão não tiveram grandes diferenças entre as diferentes safras. No ciclo de desenvolvimento dos frutos temporão 2020 houve uma maior amplitude térmica (26,8°C entre as médias mínimas e médias máximas), chegando a 2,5°C a mais que no ciclo da safra 2020 e 0,9°C a mais que a safra 2021.

Quando comparamos a precipitação pluviométrica na safra 2020 foi registrado uma precipitação 29% e 34% maior que temporã 2020 e safra 2021, respectivamente.

No mês de julho de 2021 foi registrado temperaturas abaixo de 0 e geadas no dia 1 com registro de 5 horas com temperaturas que variaram de -0,9°C a -0,1°C e no dia 20 registrando 6 horas com temperaturas que variaram de -2,6°C a -0,3°C.



**Figura 7.** Dados meteorológicos de outubro de 2019 a julho de 2021. Período da florada da Safra 2020 até a colheita da Safra 2021

As plantas foram cultivadas em sistema de sequeiro durante todo o ano e não foi realizado nenhum tipo de irrigação durante a época do experimento.

Em relação as condições dos solos, para a planta produzir satisfatoriamente, elas devem fornecer atributos que ofereçam um bom desenvolvimento das raízes, boa retenção e bom fornecimento de água e nutrientes. Essas condições são governadas pelos atributos físicos, químicos e biológicos. Para a citricultura os atributos físicos do solo usados como indicadores de qualidade são textura, estrutura, densidade, porosidade total, macroporos, microporos, retenção de água e profundidade efetiva do solo. (CORÁ, J.E.; SILVA, G.O.; MARTINS FILHO, M. V., 2005)

O solo predominante na área experimental é um argissolo vermelho amarelo (ROSSI, 2017), a textura do solo foi definida como franco-arenosa pelo triângulo textural com base nos dados de granulometria (Tabela 2), atributos esses que conferem um bom desenvolvimento radicular, boa drenagem e aeração ao solo, sendo premissas de boa qualidade física do solo para o cultivo de citros.

**Tabela 2.** Características físicas do solo da área de cada parcela experimental de limão-siciliano.

Tratamento	Granulometria (%)			Massa específica (g.cm <sup>-3</sup> )
	Argila	Silte	Areia	
T1	14,7	2,6	82,7	1,68
T2	15,7	2,5	81,8	1,62
T3	16,2	2,6	81,2	1,62
T4	16,3	2,3	81,4	1,63

Os atributos químicos do solo usados como indicadores de qualidade do solo e consequentemente recomendados para produção satisfatória de citros são: capacidade de troca de cátions (CTC), toxicidade de alumínio (Al<sup>+3</sup>), teores altos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), saturação por bases (V%) e teores altos de fósforo (P). (CORÁ, J.E.; SILVA, G.O.; MARTINS FILHO, M. V., 2005)

De acordo com Cantarella et al. (2022), as plantas cítricas são exigentes em teor de cálcio e magnésio maior que 8 mmol.dm<sup>-3</sup> e 7 mmol.dm<sup>-3</sup> respectivamente, com pH próximos da neutralidade e saturação por bases de 70%.

Para interpretação das análises de atributos químicos no solo, adotou-se critérios com base nos teores desses atributos descritos por Cantarella et al. (2022). Em todos os tratamentos os teores de pH se encontraram em teores médios que variam de 5,1 a 5,5. Assim como o P apresentou teores altos, acima de 60 mg.dm<sup>-3</sup>, e o K apresentou teores baixos, entre 0,8 e 1,5 mmol.dm<sup>-3</sup>, exceto no tratamento 2 que estava com nível médio, entre 1,6 e 3 mmol.dm<sup>-3</sup>. O Ca e Mg estavam com teores altos, superior a 8 mmol.dm<sup>-3</sup> e 7 mmol.dm<sup>-3</sup>, respectivamente. A saturação por bases variou entre 63 e 69%.

Com base nos resultados físicos (Tabela 2) e químicos (tabela 3) dos solos nas áreas experimentais de cada tratamento, pode-se notar que as plantas amostradas se encontravam em condições homogêneas de solo dando embasamento para a comparação entre elas.

**Tabela 3.** Características químicas do solo da área de cada parcela experimental de limão-siciliano.

Tratamento	pH	MO	P resina	H+Al <sup>3</sup>	K	Ca	Mg	CTC	V
	(CaCl <sub>2</sub> )	(g.dm <sup>-3</sup> )	(mg.dm <sup>-3</sup> )	(mmol.dm <sup>-3</sup> )					(%)
T1	5,1	24,4	133,9	27,9	1,1	38,8	9,2	77,0	63,8
T2	5,2	23,7	93,1	26,8	2,0	35,5	9,3	73,6	63,6
T3	5,4	23,3	126,7	23,1	1,1	42,5	8,8	75,5	69,4
T4	5,1	22,1	95,8	22,1	1,5	37,6	8,5	69,7	68,3

## 5.2. Efeito de porta-enxertos na qualidade de limão Siciliano ‘Limoneira 8A’.

Houve interação entre os porta-enxertos e as épocas de colheita para as variáveis teor de sólidos solúveis e massa de fruto (Tabela 4 e 5). Na safra 2020, os frutos de plantas enxertadas em trifoliata ‘Flying Dragon’, citrumelo ‘Swingle’ e laranja ‘Azeda’ apresentaram teor de sólidos solúveis superior ao porta-enxerto limão ‘Cravo’ (Tabela 4). Entretanto, na época de colheita temporã 2020, as plantas enxertadas em trifoliata ‘Flying Dragon’ apresentaram frutos com esse teor superior a todos os demais porta-enxertos. Na safra 2021, o porta-enxerto trifoliata ‘Flying Dragon’ apresentou novamente o maior teor de sólidos solúveis, seguido pelo citrumelo ‘Swingle’, laranja ‘Azeda’ e limão ‘Cravo’, respectivamente. Portanto, as plantas enxertadas em trifoliata ‘Flying Dragon’ apresentaram os frutos com maiores teores de sólidos solúveis.

**Tabela 4.** Teor de sólidos solúveis totais (%) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita.

Porta-enxerto	Safra 2020	Temporã 2020	Safra 2021	Média
Trifoliata ‘Flying Dragon’	10,14 Ab	9,36 Ac	13,79 Aa	11,10
Citrumelo ‘Swingle’	10,02 Ab	8,67 Bc	13,00 Ba	10,56
Laranja ‘Azeda’	9,9 Ab	8,62 Bc	12,70 Ba	10,41
Limão ‘Cravo’	9,08 Bb	8,84 Bb	11,88 Ca	9,93
Média	9,79	8,87	12,84	10,50
*CV (%)	1,73%			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas não diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

\*Coeficiente de Variação

Corroborando com o presente estudo, o trabalho de Cantuarias-Avilés et al. (2012) demonstrou que a lima ácida Tahiti enxertada sob trifoliata ‘Flying Dragon’ induziu frutos com maiores teores de sólidos solúveis, pois este porta-enxerto tem alta suscetibilidade a seca, ou seja, o fluxo de seiva é limitado pela absorção de água pelas raízes fazendo com que as plantas tenham um menor transporte de água e, conseqüentemente, aumentando a concentração de sólidos nas plantas e nos frutos. Além disso, o estudo de Morinaga; Ikeda (1990) demonstraram que os porta-enxertos tem efeito significativo nas taxas fotossintética e na translocação de produtos fotossintéticos para a copa, e essa atividade indica ser fundamental para suprir as altas exigências de carboidratos durante a frutificação, uma vez que uma queda no dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no metabolismo da planta resulta em menor produção de açúcar e aumento da abscisão de frutos em laranja ‘Umbigo’, como relatado por Jover et al. (2012).

Em relação as épocas de colheita, a safra 2021 apresentou os maiores teores de sólidos solúveis, seguida pela safra 2020 e temporão 2020. Essa diferença entre as épocas de colheita está relacionada com o clima da região, onde a safra 2021, teve uma precipitação menor, conseqüentemente frutos menores (Tabela 5), mas com uma maior concentração de sólidos solúveis.

Os frutos de plantas enxertadas em limão ‘Cravo’ e laranja ‘Azeda’ tiveram as maiores massas médias de frutos seguidos dos frutos sobre os porta-enxertos de trifoliata ‘Flying Dragon’ e citrumelo ‘Swingle’ na safra 2020 (Tabela 5), porém estes mesmos porta-enxertos não apresentaram diferença estatística na época de colheita temporã 2020. Na safra 2021, os frutos sob porta-enxerto limão ‘Cravo’ e laranja ‘Azeda’ apresentaram novamente maiores massas médias seguidos dos frutos sobre os porta-enxertos de trifoliata ‘Flying Dragon’ e citrumelo ‘Swingle’.

A época de colheita temporão 2020 obteve as maiores massas médias de frutos comparado com as demais épocas para o porta-enxerto trifoliata ‘Flying Dragon’ (Tabela 5). Todavia, a massa média dos frutos sobre porta-enxerto citrumelo ‘Swingle’, limão ‘Cravo’ e laranja ‘Azeda’ foi maior na safra 2020 e temporão 2020 se comparado com a safra 2021.

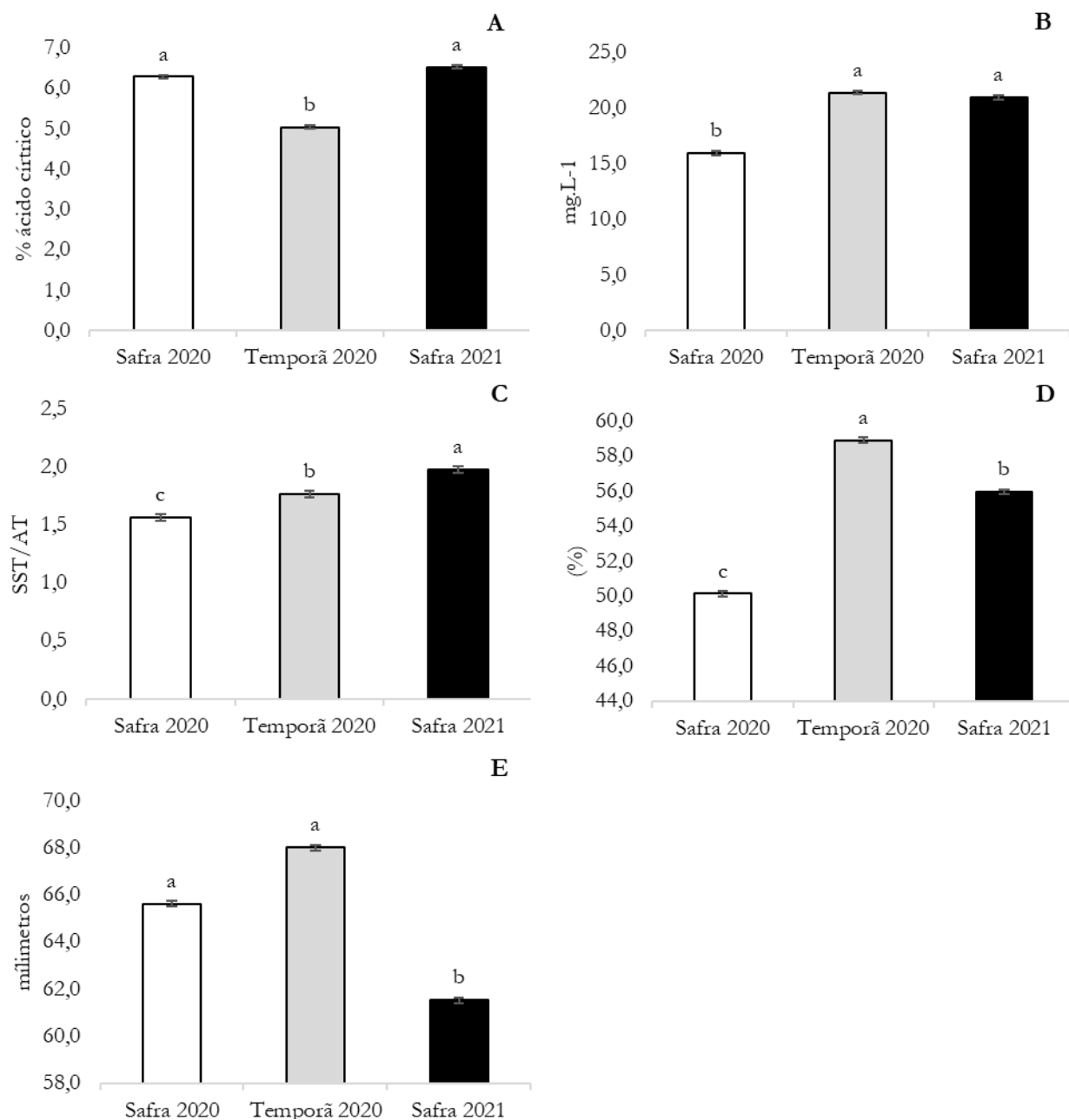
**Tabela 5.** Massa dos frutos (kg.frutos<sup>-1</sup>) em frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita

Porta-enxerto	Safra 2020	Temporã 2020	Safra 2021	Média
Trifoliata ‘Flying Dragon’	0,1643 Bb	0,1987 Aa	0,1177 Cc	0,1602
Citrumelo ‘Swingle’	0,1630 Ba	0,1767 Ba	0,1133 Cb	0,1510
Laranja ‘Azeda’	0,1807 Aa	0,1870 ABa	0,1330 Bb	0,1669
Limão ‘Cravo’	0,1853 Aa	0,1873 ABa	0,1543 Ab	0,1757
Média	0,1733	0,1874	0,1296	0,1634
CV (%)	4,06%			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas não diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

A maior massa dos frutos se dá pela maior resistência ao estresse hídrico (POMPEU JUNIOR, 2005). Na figura 7, em que consta os dados meteorológicos das épocas de colheita do presente estudo, observa-se um déficit de precipitação no período de desenvolvimento dos frutos da safra 2021 (setembro de 2020 a junho de 2021) (1.082mm) quando comparado com o período de desenvolvimento dos frutos da safra 2020 (novembro de 2019 a junho de 2020) (1.460 mm) e da época de colheita temporão 2020 (maio de 2020 a fevereiro de 2021) (1.127mm). De acordo com Schäfer; Bastianel; Dornelles (2001) as variedades de porta-enxertos mais eficientes em absorver e fornecer água e nutrientes para a copa mantém a planta sob menor estresse hídrico e nutricional o que afeta positivamente a produção e qualidade dos frutos. Com os presentes resultados observa-se que o porta-enxerto de limão ‘Cravo’ seguido da laranja ‘Azeda’ apresentaram maior resistência ao estresse hídrico quando comparados com os porta-enxertos trifoliata ‘Flying Dragon’ e citrumelo ‘Swingle’. Já na época em que não houve limitação de água, os porta-enxertos trifoliata ‘Flying Dragon’, limão ‘Cravo’ seguido da laranja ‘Azeda’ demonstraram alta eficiência em absorver e fornecer água e nutrientes para a copa.

Não houve interação significativa entre os porta-enxertos e as épocas de colheita para as variáveis acidez titulável (AT), relação SST/AT (Ratio), diâmetro dos frutos, massa do suco e a limonina. Entretanto, estas variáveis apresentaram diferença entre as safras (Figura 8). Ademais, as variáveis AT, diâmetro dos frutos e massa do suco não apresentaram diferença entre porta-enxertos, mas a limonina e relação SST/AT apresentaram diferença entre eles (Figura 9 e 10).



**Figura 8.** Acidez titulável (A), teor de limonina (B), relação entre teor de sólidos solúveis e de acidez titulável (C), porcentagem de suco (D) e diâmetro do fruto (E) de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta enxertos, em três épocas de colheita. Cada barra representa a média dos resultados em cada época de colheita dos 4 porta enxertos. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey,  $p < 0,5$ .

A acidez total (AT) é um fator importante na qualidade geral do suco e na determinação do tempo de colheita em vários países produtores de cítricos. Neste estudo, a AT no suco não foi afetada pelos porta-enxertos como também foi verificado pelo estudo de Di Rauso Simeone et al. (2020). Entretanto, outro trabalho demonstrou que os porta-enxertos afetaram a AT dos frutos (AL-JALEEL; ZEKRI; HAMMAM, 2005), mas os mesmos autores não elucidaram os motivos que levaram à diferença na AT do suco de limão sobre diferentes porta-enxertos.

Nas safras 2020 e 2021 a AT foi maior em comparação aos frutos da época de colheita temporã 2020 (Figura 8A). Contudo, os frutos na safra 2020 e na safra 2021 tiveram a menor e a maior relação SST/AT, respectivamente. Os frutos da safra temporã 2020 obtiveram uma relação SST/AT intermediária entre as safras 2020



e 2021. (Figura 8C) Essa diferença pode ser explicada também pela diferença da quantidade de precipitação em cada época de colheita, sendo que os frutos da safra 2021, submetidos à menor precipitação, possuíam menor massa média de fruto e maior concentração de SST no suco. Em contrapartida, na época temporã 2020, que apresentou uma maior quantidade de chuvas, os frutos tiveram maiores massas médias, com maior quantidade de água e menor teor de sólidos solúveis.

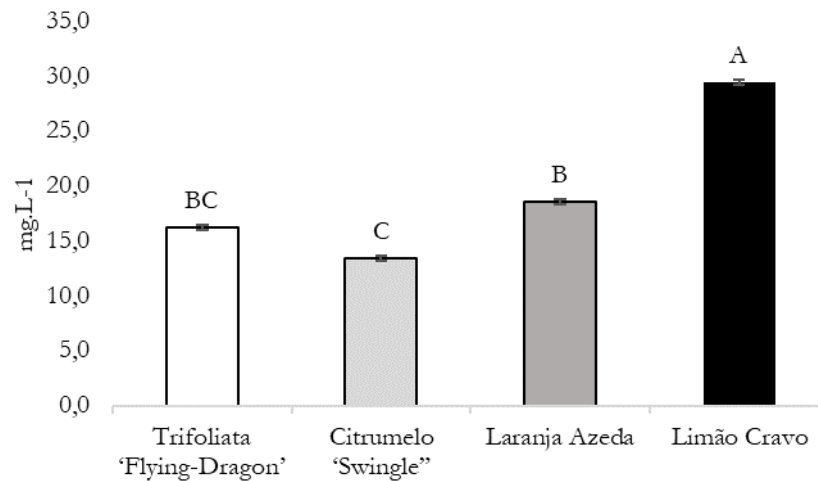
Em relação ao diâmetro dos frutos, este estava menor na safra 2021 em comparação com as demais épocas de colheita (Figura 8E). O diâmetro do fruto também pode ser explicado pela precipitação em cada época de colheita afetando diretamente o desenvolvimento dos frutos. Contudo, a menor porcentagem de suco foi obtida nos frutos na safra 2020, e os frutos da safra 2021 apresentaram uma porcentagem intermediária entre a temporã 2020 (maior porcentagem de suco) e a safra 2020 (Figura 8D).

O teor de limonina foi menor nos frutos da safra 2020 (Figura 8B). Durante o processo de amadurecimento dos frutos acontece à conversão de monolactonas em derivados glicosídeos que fazem com que os níveis de limonina diminuam ao longo da safra. Os níveis de limonina também dependem da variedade de citros, isso porque cada variedade possui um período de maturação. Quanto mais longo for o período de maturação, mais aglicona é convertida em seus glicosídeos, reduzindo o teor de limonina (HASEGAWA; & MIYAKE, 1996).

No período de amadurecimento dos frutos de limão, que abrange aproximadamente os três meses que antecede a colheita, observou-se as seguintes condições meteorológicas, onde na safra 2020 houve temperatura média de 18,3°C, máxima 31,9°C e acumulado de 151 mm de chuvas, na época dos frutos temporãos 2020 temperatura média de 24,6°, máxima de 36,7°C e acumulado de chuvas com 450mm e na safra 2021, temperatura média de 16,5°C, máxima de 32,0°C e acumulado de chuvas de 92mm. Com esses dados observou-se que na época de amadurecimento dos frutos temporãos 2020 houve temperaturas máximas acima de 35°C e na safra 2021 a temperatura média foi a menor registrada e houve baixa pluviometria, condições estas que podem estar relacionadas com o atraso no início do período de amadurecimento dos frutos. A faixa ótima de desenvolvimento do citrus está entre 25°C e 30°C e quando há temperaturas acima dos 35°C ocorre aumento acentuado da fotorrespiração e perdas de eficiência fotossintética (RIBEIRO et al., 2004; MACHADO et al., 2005).

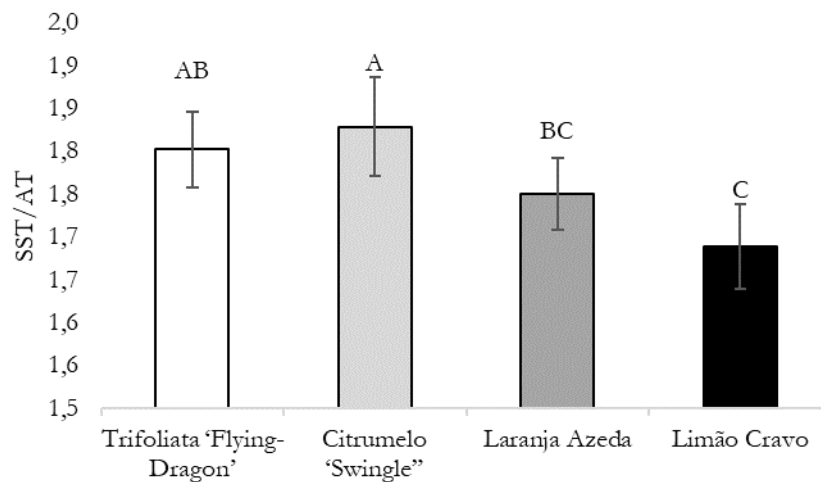
Sendo assim, os frutos na safra 2020 estavam com maior diâmetro e maior massa que na safra 2021, porém obtiveram menor porcentagem de suco, relação SST/AT e teor limonina. Ademais, os frutos temporãos 2020 apresentaram maior diâmetro, maior massa, maior porcentagem de suco, menor acidez titulável e maior teor de limonina que os frutos da safra 2021.

Os frutos sobre o porta-enxerto limão 'Cravo' apresentaram o maior teor de limonina seguido pelos frutos sobre laranja 'Azeda', trifoliata 'Flying Dragon' e citrumelo 'Swingle', em ordem decrescente (Figura 9). Em estudo realizado por Saini et al. (2019) com tangerina Kinnow (*C. nobilis* × *C. deliciosa*) em seis porta-enxertos, a laranja 'Azeda' e o limão rugoso produziram frutos com maiores teores de limonina, corroborando com o presente estudo em que as plantas de limão enxertadas em laranja 'Azeda' produziram frutos com alto teor de limonina, somente menor que teores encontrados em plantas enxertadas em limão 'Cravo' (Figura 9). Os possíveis fatores que podem explicar esse efeito estão relacionados com o vigor dos porta-enxertos e o poder dos porta-enxertos em atrasar ou adiantar a maturação dos frutos.



**Figura 9.** Teor de limonina (mg.L<sup>-1</sup>) em frutos de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey,  $p < 0,05$ .

Em relação ao SST/AT, esta variável também apresenta diferença entre os porta-enxertos (Figura 8C e 10). Os frutos das plantas enxertadas em citrumelo 'Swingle' obtiveram maior relação SST/AT quando comparados com limão 'Cravo' e laranja 'Azeda'. Além disso, os frutos do porta-enxerto trifoliata 'Flying Dragon' apresentaram maior relação SST/AT quando comparado com limão 'Cravo'. Sendo assim, os frutos dos porta-enxertos trifoliata 'Flying Dragon', citrumelo 'Swingle' e laranja 'Azeda' apresentaram maior relação SST/AT e maior teor de sólidos solúveis que os frutos sob porta-enxerto limão 'Cravo' (Figura 10 e Tabela 4).



**Figura 10.** Relação do teor de sólidos solúveis e acidez titulável (SST/AT) em frutos de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita. Médias seguidas de mesma letra entre si não diferem entre si (Teste F,  $p < 0,05$ ).

Também ocorreu interação entre as épocas de colheita e os porta-enxertos para as variáveis índice tecnológico e óleo total do fruto (Tabela 6 e 7).

**Tabela 6.** Índice tecnológico dos frutos de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre porta-enxertos em três épocas de colheita.

Porta-enxerto	Safra 2020	Temporã 2020	Safra 2021	Média
Trifoliata 'Flying Dragon'	2,11 Ab	2,27 Ab	3,41 Aa	2,60
Citrumelo 'Swingle'	2,10 Ab	1,99 Bb	2,90 Ba	2,33
Laranja 'Azeda'	1,94 Ab	2,08 ABb	2,78 Ba	2,27
Limão 'Cravo'	1,87 Ac	2,19 ABb	2,65 Ba	2,24
Média	2,00	2,13	2,94	2,36
CV (%)	5,00%			

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas não diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

Os frutos das plantas enxertadas no trifoliata 'Flying Dragon' apresentaram melhor índice tecnológico, se comparado apenas com citrumelo 'Swingle' na época de colheita temporã 2020 e se comparada aos demais porta-enxertos na safra 2021 (Tabela 6). Ademais, os frutos da safra 2021 apresentaram melhores índices tecnológicos comparados a safra 2020 e temporão 2020.

O índice tecnológico é um cálculo básico para saber a quantidade de sólidos solúveis totais em uma caixa de citros de 40,8 quilogramas, relacionado diretamente com a porcentagem de suco, que para o processamento de suco concentrado vai mostrar qual combinação irá render mais produto com a mesma quantidade de matéria prima. Para produtos processados, a qualidade do suco de frutas determina a eficiência de custos desde a colheita até a extração do suco, mas o rendimento é o fator determinante do lucro, independentemente de a base de pagamento ser concentração de sólidos solúveis (por exemplo, na Flórida) ou quantidade de frutos (por exemplo, no Brasil). A utilidade do porta-enxerto como fator de qualidade do fruto também é dependente da cultivar do enxerto. Algumas cultivares de laranja como 'Valencia' são naturalmente de alta qualidade e a escolha do porta-enxerto pode ser menos significativa do que para uma laranja de baixa qualidade como 'Hamlin' (CASTLE, 1995).

Ao contrário do resultado encontrado por Verzera et al. (2003), em que os porta-enxertos não influenciaram no teor de óleo total no fruto de bergamota (*Citrus bergamia* Risso et Poiteau), no presente estudo o teor de óleo no fruto (Tabela 7) foi maior na colheita da safra 2021, seguido pela safra 2020 e temporão 2020 das plantas enxertadas em trifoliata 'Flying Dragon' e laranja 'Azeda'. Em contrapartida, o teor de óleo do fruto das plantas enxertadas em citrumelo 'Swingle' e limão 'Cravo' foi maior na colheita da safra 2020, seguido pela safra 2021 e temporão 2020. Conseqüentemente, na safra 2020 o teor de óleo foi maior nos frutos das plantas enxertadas em citrumelo 'Swingle' e limão 'Cravo' comparado aos demais porta-enxertos. Entretanto, na safra 2021, as plantas enxertadas em citrumelo 'Swingle' e trifoliata 'Flying Dragon' apresentaram os teores de óleo dos frutos superior ao laranja 'Azeda' e limão 'Cravo'.

Na época de colheita temporã 2020, os frutos apresentaram o menor teor de óleo para todos os porta-enxertos avaliados; porém, pode ser observado que nesta época o teor de óleo foi maior nos frutos das plantas enxertadas em citrumelo 'Swingle', seguidos das plantas enxertadas em trifoliata 'Flying Dragon', laranja 'Azeda' e limão 'Cravo'. O teor de óleo no fruto é geralmente afetado por diferentes fatores, como tamanho da fruta, espessura da casca, densidade da glândula sebácea, calor e oxidação por luz (DI RAUSO SIMEONE et al., 2020). Uma das hipóteses que pode explicar por que os frutos colhidos em março de 2021 (temporã 2020) tiveram menor teor de óleo no fruto, é que nessa época houve as temperaturas médias maiores e com maior incidência de luz solar nos frutos comparado com as outras épocas de colheita (Figura 7), corroborando com os resultados de Sharma et al., (2016) que relataram que a concentração de óleo essencial de pinheiro Loblolly (*Pinus taeda* L.) diminuiu à medida que a temperatura aumentou.

Outra hipótese seria devido a massa média dos frutos (Tabela 5), pois com a menor massa médias dos frutos (safra 2020 e 2021) tem-se maior teor de óleo por caixa. Esse resultado pode ser deduzido já que teria mais unidades de frutos em uma caixa de 40,8 quilos, portanto, maior quantidade de casca de limão onde encontra-se a maior concentração de glândula sebácea. Para confirmar tal hipótese seria necessário analisar a espessura da casca e a densidade das glândulas sebáceas nessa mesma casca.

**Tabela 7.** Teor de óleo total (gramas.caixa de 40,8kg<sup>-1</sup>) no fruto de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre porta-enxertos em três épocas de colheita.

<b>Porta-enxerto</b>	Safra 2020		Temporã 2020		Safra 2021		Média
Trifoliata ‘Flying Dragon’	264,00	Cb	178,30	Dc	266,49	Ba	236,26
Citrumelo ‘Swingle’	316,00	Aa	239,36	Ac	297,24	Ab	284,20
Laranja ‘Azeda’	235,33	Cb	201,14	Bc	248,47	Ca	228,31
Limão ‘Cravo’	244,67	Ba	190,67	Cc	210,95	Db	215,43
Média	265,00		202,37		255,79		241,05
CV (%)	1,85%						

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas nas linhas e letras maiúsculas nas colunas não diferem ( $p < 0,05$ ) entre si pelo teste de Tukey.

### **5.3. Efeito de porta-enxertos na produção de compostos voláteis de limão Siciliano ‘Limoneira 8A’**

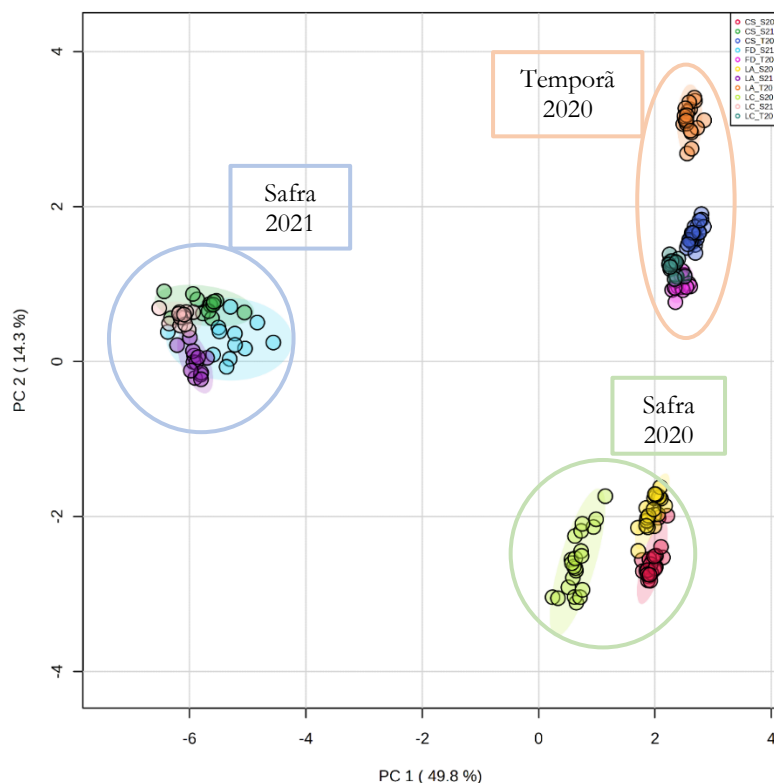
Na análise do perfil cromatográfico dos compostos voláteis do óleo essencial do limão foram encontrados 57 compostos voláteis (Tabela 9) integrantes do aroma do óleo essencial de limão siciliano ‘Limoneira 8A’. No total, foram encontradas 11 famílias químicas, sendo as principais: terpenos, ésteres, aldeídos e cetonas compondo mais de 84% dos compostos encontrados.



20	Perillaldehyde	2111-75-3	Herbal	Terpeno			
21	$\alpha$ -Pinene	80-56-8	Herbal	Terpeno			
22	2-(2,3,3-Trimethyl-cyclopent-1-yliden)acetaldehyde	990015-69-2	Amadeirado	Terpeno			
23	2,6-Nonanedione	36452-81-0	N.E.	Cetona			
24	Neryl acetate	141-12-8	Floral	Ester			
25	Citral	141-27-5	Limão	Terpeno			
26	2-Methyl-1,8-octanediol	990021-58-0	N.E.	Compostos organoheterocíclicos			
27	3-(7-Methyl-6-bicyclo[3.2.0]hept-6-enyl)cyclobutane-1,1,2,2-tetracarbonitrile	990208-03-0	N.E.	Nitrilo			
28	3-Methoxy-5-methylbenzene-1,2-diol	990016-78-3	N.E.	Fenol			
29	3-Oxabicyclo[3.3.0]octa-1,4-dien-7-one	81715-27-7	N.E.	Compostos organoheterocíclicos			
30	6-Acetoxy-1-propenylcycloheptene	990063-22-9	N.E.	Ester			
31	(-)-Citronellal	5949-05-3	Citríco	Terpeno			
32	Santene	529-16-8	N.E.	Terpeno			
33	(E)-sabinene hydrate	17699-16-0	Herbal	Terpeno			
34	1,2,4-Trimethyl-3-nitrobicyclo[3.3.1]nonan-9-one	129967-65-3	N.E.	Nitrocompostos orgânicos			
35	beta-Pinene	18172-67-3	Herbal	Terpeno			
36	D-Limonene	5989-27-5	Citríco	Terpeno			
37	beta-caryophyllene	87-44-5	Apimentado	Terpeno			
38	cis- $\alpha$ -Bergamotene	18252-46-5	Amadeirado	Terpeno			
39	Terpinolene	586-62-9	Herbal	Terpeno			
40	Rothrockene	80082-35-5	N.E.	Terpeno			
41	Decanal	112-31-2	Aldeído	Aldeídos			
42	Geranyl acetate	105-87-3	Floral	Ester			
43	Citronellyl hexanoate	10580-25-3	Floral	Ester			
44	Linalool	78-70-6	Floral	Terpeno			

45	(Z)-citral	106-26-3	Limão	Terpeno			
46	NEROL	106-25-2	Doce	Terpeno			
47	Nonanal	124-19-6	Aldeído	Aldeídos			
48	Nonanoic acid	112-05-0	Rançoso	Ácidos graxos			
49	Octanal	124-13-0	Frutado	Aldeídos			
50	Octanoic acid	124-07-2	gorduroso	Ácidos graxos			
51	ortho-cymene	527-84-4	N.E.	Terpeno			
52	$\beta$ -bourbonene	5208-59-3	Herbal	Terpeno			
53	(+)-4-Carene	29050-33-7	N.E.	Terpeno			
54	p-Menth-2-en-1-ol	619-62-5	N.E.	Terpeno			
55	gamma.Elemene	29873-99-2	Verde	Terpeno			
56	Geraniol	106-24-1	Citríco	Terpeno			
57	Terpinen-4-ol	562-74-3	Terpeno	Terpeno			

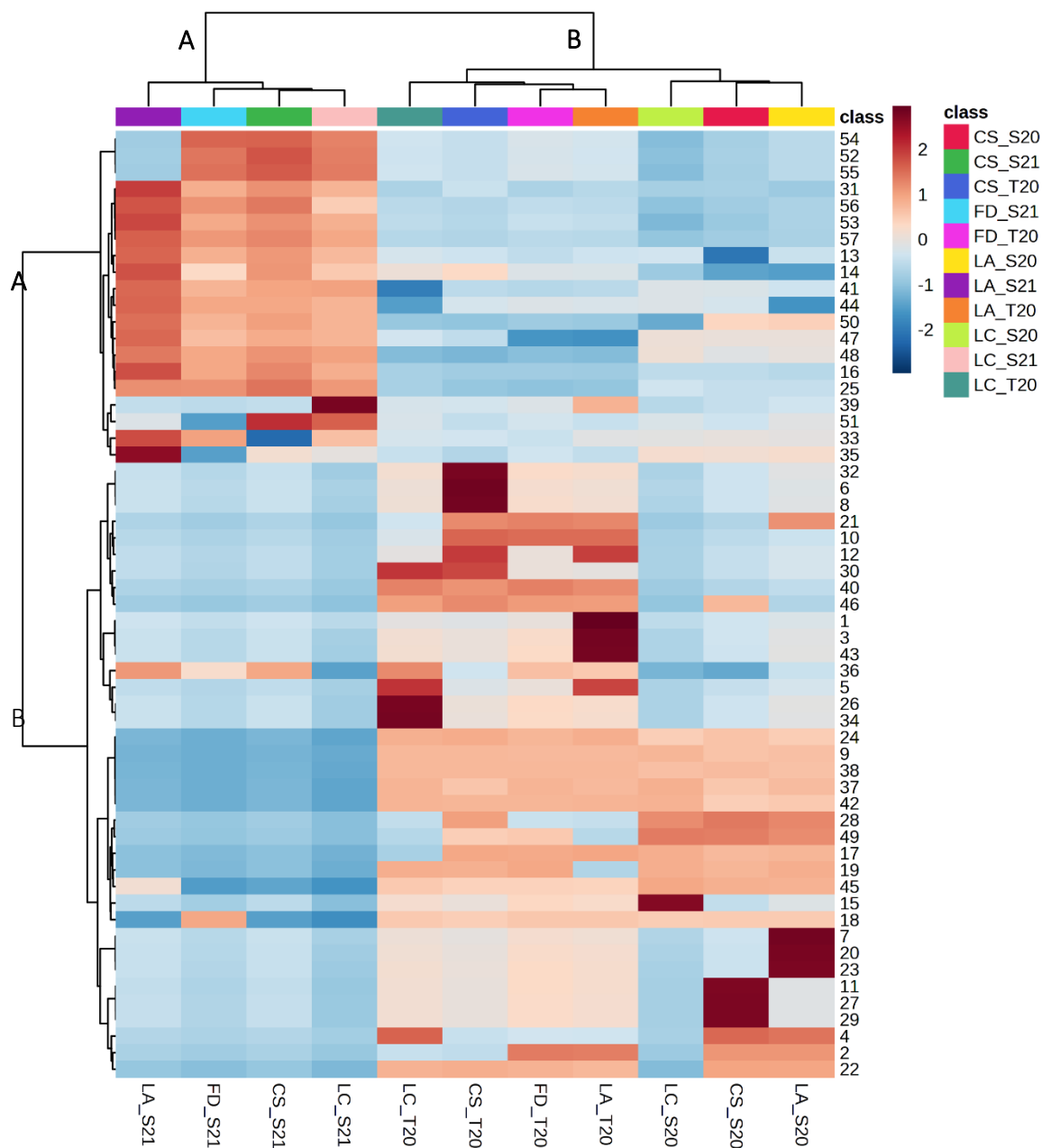
Os dados de compostos voláteis do óleo essencial de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita foram submetidos a análise multivariada de componentes principais (Figura 11) e análise de agrupamento hierárquico e heatmap (Figura 12) obtidas no programa Metaboanalyst 3.0. Os resultados obtidos demonstraram que cada época de colheita possuía um perfil de compostos voláteis (Figuras 11 e 12).



**Figura 11.** Análise multivariada dos componentes principais (PCA) dos compostos voláteis emitidos pelos frutos de limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita.

A análise de componentes principais (PCA) separou os dados em dois grupos distintos, o PC1 explicou que 49,8% do total da variabilidade foi em consequência das épocas de colheita, o PC2 explicou 14,3% do total da variabilidade foi em decorrência dos diferentes porta-enxertos. As amostras referentes a safra 2020 e temporã 2020 agruparam-se na região positiva do gráfico indicando um maior número de compostos voláteis compartilhados. Já as amostras referentes a safra 2021 agruparam-se na região negativa. (Figura 11)





**Figura 12.** Análise de agrupamento Hierárquico e Heatmap dos compostos voláteis emitidos pelos frutos de limão siciliano 'Limoneira 8A' sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita, onde as cores vermelha e azul indicam altos e baixos níveis dos compostos, respectivamente.

Os compostos voláteis identificados foram separados em dois grupos. O grupo A contém os compostos detectados em sua maioria nas amostras colhidas na safra 2021 e o grupo B os compostos detectados em sua maioria nas colheitas da safra 2020 e temporão 2020. Na figura 12, demonstra-se onde cada composto teve maior significância dentro da análise de PCA. Estes resultados demonstram que as épocas de colheita influenciaram a quantidade dos compostos voláteis mais do que as variedades de porta-enxerto. Isso ocorreu, provavelmente, devido às distintas condições climáticas às quais as plantas foram submetidas em cada época de colheita. Ao analisarmos as famílias químicas separadas entre as safras (Tabela 9) pode-se verificar que houve diferença na quantidade total de compostos encontrados. Nos frutos colhidos na safra 2021, quando ocorreu menor acúmulo de precipitação no período de maturação dos frutos (Figura 7), houve menor quantidade de compostos quando comparado com as duas

épocas de colheitas anteriores. Os frutos colhidos na época da temporã 2020 foram os que apresentaram maior quantidade de compostos, época esta que apresentou maiores temperaturas médias e maiores precipitações acumuladas na maturação dos frutos (Figura 7).

**Tabela 9.** Quantidade de compostos voláteis emitidos pelos frutos limão siciliano ‘Limoneira 8A’ sobre quatro porta-enxertos em três épocas de colheita separados por família química e em cada tratamento. **LC** - limão ‘Cravo’ (*C. limonia* Osbeck cv. Cravo), **CSW** - citrumelo ‘Swingle’ (*C. paradisi* x *Poncirus trifoliata*), **LA** - laranja ‘Azeda’ (*C. aurantium* L.) e **FD** - ‘Flying Dragon’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. var. monstrosa].

Famílias Químicas	Safrã 2020			Temporã 2020				Safrã 2021			
	LA	CSW	LC	FD	LA	CSW	LC	FD	LA	CSW	LC
Terpeno	21	20	18	22	24	23	18	17	15	14	17
Ester	3	3	2	2	3	3	4	0	0	0	0
Aldeídos	3	3	3	3	2	4	1	2	2	2	2
Cetona	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Nitrilo	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Compostos organoheterocíclicos	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Ácidos graxos	2	2	1	0	0	0	0	2	2	2	2
Éter	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Fenol	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Nitrocompostos orgânicos	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>31</b>	<b>31</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>31</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>21</b>

As condições edafoclimáticas tem efeito significativo nos processos metabólicos secundários e consequentemente na biossíntese e nas flutuações nos compostos voláteis (LATA et al., 2018, ZEHRA et al., 2019). Segundo Melito et al. (2016), que avaliaram os efeitos das condições climáticas nos compostos voláteis da *Helichrysum italicum subsp. Italicum* encontradas à beira-mar e em montanhas na Sardenha-Itália, verificaram que alguns compostos voláteis como o nerodial e o limoneno sofreram forte influência da temperatura e da precipitação, respectivamente. Em estudo realizado na Indonésia em 4 locais produtores de Limão Kaffir (*Citrus hystrix* DC) demonstrou que as condições climáticas (temperatura e precipitação) influenciaram nos teores dos compostos do óleo essencial do limão Kaffir, sendo que local com menor temperatura média (22,1°C), Pesuruan, obteve o maior teor de citronelal (EFENDI et al., 2021). Ademais, Luro et al. (2020) verificaram que a temperatura média anual de 15,2°C (Córsega-França) contra cerca de 24°C na Bahia foi uma das principais características responsáveis pelas maiores proporções de sesquiterpenos oxigenados e teores de monoterpenos nos óleos essenciais cítricos.

Portanto, a maior quantidade de voláteis encontrados na safrã 2020 e temporã 2020 pode estar relacionado com a temperatura média mais alta das duas primeiras safras e menor precipitação acumulada na safrã 2021. Isso porque a temperatura tem uma influência forte e imediata na atividade das enzimas que catalisam a síntese de muitos compostos voláteis (LORETO; SCHNITZLER, 2010). Segundo os mesmos autores, a temperatura é o fator ambiental mais importante que afeta a liberação de terpenos (incluindo isopreno, monoterpenos etc.) de plantas aromáticas, pois as atividades da maioria das enzimas que catalisam a síntese de compostos orgânicos voláteis são estimuladas pela temperatura. Além disso, de acordo com Kleiber et al. (2017) a deficiência hídrica pode afetar positiva ou negativamente os teores de terpenóides em uma mesma espécie de acordo com os órgãos da planta e o

grau de estresse hídrico na região durante o crescimento da planta e sugerem que os terpenóides exercem um papel importante contra o estresse ambiental e é um mecanismo para adaptação em condições de alto estresse hídrico.

Entretanto, hipotetizar como a temperatura e a precipitação afetam a síntese de compostos voláteis é muito difícil, uma vez que esses compostos voláteis possuem uma composição complexa com estruturas diferenciadas sendo predominantes as moléculas terpênicas, seguidas de fenilpropanóides com ou sem a presença de grupos funcionais, tais como álcoois, cetonas, fenólicos, ésteres, ácidos carboxílicos, acetatos e aldeídos (ROBBERS, J.E. et al., 1997).

## 6. CONCLUSÃO

Os porta-enxertos têm efeito direto na qualidade do limão siciliano 'Limoneira 8A'. O porta-enxerto 'Flying Dragon' proporcionou a melhor qualidade do fruto devido aos maiores teores de SST e, conseqüentemente, maior Índice tecnológico. Esse porta-enxerto proporcionou também menor teor de limonina no fruto, conferindo boa qualidade para o processamento de suco concentrado e para o consumo in natura. O porta-enxerto citrumelo 'Swingle' induziu maior de produção de óleos essenciais no fruto, quando comparado com os demais porta-enxertos.

As diferentes épocas de colheita afetaram a qualidade dos frutos e a composição dos compostos voláteis do óleo essencial de limão siciliano 'Limoneira 8A'.



## REFERÊNCIAS

- AL-JALEEL, A.; ZEKRI, M.; HAMMAM, Y. Yield, fruit quality, and tree health of “Allen Eureka” lemon on seven rootstocks in Saudi Arabia. **Scientia Horticulturae**, v. 105, n. 4, p. 457–465, 29 jul. 2005.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen’s climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVEZ, F. de L. **Características físicas, químicas e físico-químicas de frutas de cultivares de limão *Citrus limon* (L.) Burm.** 1986. 201f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Agronomia Área de Concentração Horticultura. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 1986.
- BARRY, G. H.; CARUSO, M.; GMITTER, F. G. Commercial scion varieties. *The Genus Citrus*, p. 83–104, 1 jan. 2020. . Acesso em: 2 mar. 2023.
- CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JR., D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. van. BOLETIM 100: RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO E CALAGEM PARA O ESTADO DE SÃO PAULO. [s.l: s.n.].
- CANTUARIAS-AVILÉS, T.; MOURÃO FILHO, F. de A. A.; STUCHI, E. S.; DA SILVA, S. R.; ESPINOZA-NÚÑEZ, E.; NETO, H. B. Rootstocks for high fruit yield and quality of “Tahiti” lime under rain-fed conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 142, p. 105–111, 2012.
- CARLOS, E. F.; STUCHI, E. S.; DONADIO, L. C. **Porta-enxerto para a agricultura paulista**. Jaboticabal: Funep, 1997. 47p. (Boletim Citrícola 1).
- CASTLE, W. S. Rootstock as a fruit quality factor in citrus and deciduous tree crops. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 23, n. 4, p. 383–394, 1995.
- CIRIMINNA, R. et al. The Case for a Lemon Bioeconomy. **Advanced Sustainable Systems**, p. 2016–2021, 2020.
- CORÁ, J.E.; SILVA, G.O.; MARTINS FILHO, M. V. Manejo do solo sob citros In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico; FUNDAG, 2005. p.345-368.
- CURK, F. et al. Phylogenetic origin of limes and lemons revealed by cytoplasmic and nuclear markers. **Annals of Botany**, v. 117, n. 4, p. 565–583, 2016.
- DE CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. BOLETIM TÉCNICO, 106 - Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônômico de Campinas. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[https://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim\\_Tecnico\\_106\\_rev\\_atual\\_2009.pdf](https://www.iac.sp.gov.br/produtoseservicos/analisedosolo/docs/Boletim_Tecnico_106_rev_atual_2009.pdf)>. Acesso em: 3 mar. 2023.
- DHANAVADE, M. J. et al. Study Antimicrobial Activity of Lemon (*Citrus lemon* L.) Peel Extract. **British Journal of Pharmacology and Toxicology**, v. 2, n. 3, p. 119–122, 2011.
- DI RAUSO SIMEONE, G.; DI MATTEO, A.; RAO, M. A.; DI VAIO, C. Variations of peel essential oils during fruit ripening in four lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) cultivars. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 1, p. 193–200, 2020.
- DI RAUSO SIMEONE, G.; DI MATTEO, A.; RAO, M. A.; DI VAIO, C. Variations of peel essential oils during fruit ripening in four lemon (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 100, n. 1, p. 193–200, 2020.

- DONADIO, L. C.; MOURÃO FILHO, F. de A.A.; MOREIRA, C. S. Centro de origem, distribuição geográfica das plantas cítricas e histórico da citricultura no Brasil. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico; FUNDAG, 2005. p.2-18.
- DUBEY, A. K.; SHARMA, R. M. Effecto od rootstocks on tree growth, yield, quality and leaf mineral composition of lemon (*Citrus limon* (L.) Burm.). **Scientia Horticulturae**, v. 200, p. 131–136, 2016.
- EFENDI, D.; BUDIARTO, R.; POERWANTO, R.; SANTOSA, E.; AGUSTA, A. Relationship among agroclimatic variables, soil and leaves nutrient status with the yield and main composition of kaffir lime (*Citrus hystrix* dc) leaves essential oil. **Metabolites**, v. 11, n. 5, 1 maio 2021.
- FERHAT, M. A.; MEKLATI, B. Y.; CHEMAT, F. Comparison of different isolation methods of essential oil from Citrus fruits: cold pressing, hydrodistillation and microwave ‘dry’ distillation. **Flavour and Frafrance Journal**, v. 22, n. April, p. 494–504163, 2007.
- FIGUEIREDO, J. O. DE et al. Comportamento De Catorze Porta-Enxertos Para O Limão Eureka. **Revista Brasileira de Fruticultura**.v. 2, p. 73–76, 2005.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. 2018. Disponível em:<<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 1 de marco de 2020.
- FUNDECITRUS, 2022. Inventário de árvores do cinturão citrícola de São Paulo e Triângulo/Sudoeste Mineiro: retrato dos pomares em março de 2022 / Fundo de Defesa da Citricultura... [et al.]. – Araraquara,SP : Fundecitrus, 2022. 116 p. Disponível em: <[https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes\\_relatorios/2022\\_07\\_01\\_Inventario\\_e\\_Estimativa\\_do\\_Cinturao\\_Citricola\\_2022-2023.pdf](https://www.fundecitrus.com.br/pdf/pes_relatorios/2022_07_01_Inventario_e_Estimativa_do_Cinturao_Citricola_2022-2023.pdf)> Acesso em: 1 de marco de 2023.
- GIL-IZQUIERDO, A. et al. Effect of the Rootstock and Interstock Grafted in Lemon Tree (*Citrus limon* (L.) Burm.) on the Flavonoid Content of Lemon Juice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 2, p. 324–331, 2004.
- GONZALES-MOLINA, E. et al. Natural bioactive compounds of Citrus limon nfor food and health. **Journal of pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 51, p. 327–345, 2010.
- GONZÁLEZ-MOLINA, E.; MORENO, D. A.; GARCÍA-VIGUERA, C. Genotype and harvest time influence the phytochemical quality of fino lemon juice (*Citrus limon* (L.) Burm. F.) for industrial use. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 5, p. 1669–1675, 2008.
- GUALDANI, R.; CAVALLUZZI, M. M.; LENTINI, G.; HABTEMARIAM, S. **The chemistry and pharmacology of citrus limonoids**. [s.l: s.n.].v. 211–39 p.
- GUIMARÃES, R. et al. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange. **Food and Chemical Toxicology**, v. 48, n. 1, p. 99–106, 2010.
- HIPPLERA, F. et al. Citrus rootstocks regulate the nutritional status and antioxidant system of tree under copper stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 130, p. 42–52, 2016.
- IBGE, 2021. Censo Agropecuário. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/limao/br>>. Acesso em: 1 de marco de 2023.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 1ª Edição Digital. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, 2008.

- JOVER, S.; MARTÍNEZ-ALCÁNTARA, B.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J.; LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; FORNER, J.; FORNER-GINER, M. A. Influence of Rootstocks on Photosynthesis in Navel Orange Leaves: Effects on Growth, Yield, and Carbohydrate Distribution. **Crop Science**, v. 52, n. 2, p. 836–848, mar. 2012. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.2135/cropsci2011.02.0100>>.
- KHAN, Y. et al. Evaluation of Hypolipidemic effect of Citrus Lemon. **Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 6, n. 1, p. 39–43, 2010.
- KLEIBER, A.; DUAN, Q.; JANSEN, K.; JUNKER, L. V.; KAMMERER, B.; RENNENBERG, H.; ENSMINGER, I.; GESSLER, A.; KREUZWIESER, J. Drought effects on root and needle terpenoid content of a coastal and an interior Douglas fir provenance. **Tree Physiology**, v. 37, n. 12, p. 1648–1658, 1 dez. 2017.
- KLIMEK-SZCZYKUTOWICZ, M.; SZOPA, A.; EKIERT, H. Citrus limon (Lemon) phenomenon—a review of the chemistry, pharmacological properties, applications in the modern pharmaceutical, food, and cosmetics industries, and biotechnological studies. **Plants**, v. 9, n. 1, 2020.
- LATA, R.; CHOWDHURY, S.; GOND, S. K.; WHITE, J. F. **Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes** **Letters in Applied Microbiology** Blackwell Publishing Ltd, 1 abr. 2018.
- LATA, R.; CHOWDHURY, S.; GOND, S. K.; WHITE, J. F. Induction of abiotic stress tolerance in plants by endophytic microbes **Letters in Applied Microbiology** Blackwell Publishing Ltd, 1 abr. 2018.
- LORETO, F.; SCHNITZLER, J. P. **Abiotic stresses and induced BVOCs** **Trends in Plant Science** mar. 2010.
- LURO, F.; NEVES, C. G.; COSTANTINO, G.; DA SILVA GESTEIRA, A.; PAOLI, M.; OLLITRAULT, P.; TOMI, F.; MICHELI, F.; GIBERNAU, M. Effect of Environmental Conditions on the Yield of Peel and Composition of Essential Oils from Citrus Cultivated in Bahia (Brazil) and Corsica (France). **Agronomy**, v. 10, n. 9, 1 set. 2020.
- MARTINEZ-CUENCA, M.; QUININES, A.; FORNER-GINER, M. A. Screening of “King” mandarin (*Citrus nobilis* Lour) x *Poncirus trifoliata* (L.)Raf. hybrids as citrus rootstocks tolerants to iron chlorosis. **Scientia Horticulturae**, v. 198, p. 61–69, 2016.
- MATTOS JUNIOR, D. de.; DE NEGRI, J. Dagoberto.; PIO, R. Mary.; POMPEU JUNIOR, Jorgino. **Citros**. 1. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundag, 2005. 929 p.
- MELITO, S.; PETRETTO, G. L.; PODANI, J.; FODDAI, M.; MALDINI, M.; CHESSA, M.; PINTORE, G. Altitude and climate influence *Helichrysum italicum* subsp. *microphyllum* essential oils composition. **Industrial Crops and Products**, v. 80, p. 242–250, 1 fev. 2016.
- MOOSAVY, M. H. et al. Antioxidant and antimicrobial activities of essential oil of lemon (*Citrus limon*) peel in vitro and in a food model. **Journal of Food Quality and Hazards Control**, v. 4, n. 2, p. 42–48, 2017.
- MORINAGA, K.; IKEDA, F. The Effects of Several Product , Rootstocks and Growth on Photosynthesis , of Young Satsuma Distribution Mandarin of Trees Photosynthetic. **J. Japan. Soc. Hort. Sci**, v. 59, n. 1, p. 29–34, 1990.
- MOTA, A. H. A review of medicinal plants used in therapy of cardiovascular diseases. **International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research**, v. 8, n. 4, p. 572–591, 2016.
- NAKAJIMA, V. M.; MACEDO, G. A.; MACEDO, J. A. Citrus bioactive phenolics: Role in the obesity treatment. **LWT - Food Science and Technology**, v. 59, n. 2P2, p. 1205–1212, 2014.
- NONINO, E. A. Where is the Citrus industry going? **Perfumer & Flavorist**, v. 20, p.53-58. 1997.



- PIO, R.M.; FIGUEIREDO, J.O.; STUCHI, E.S.; CARDOSO, S.A.B. Cultivar de copas. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico; FUNDAG, 2005, p.37-60.
- POMPEO JUNIO. Porta-enxertos. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JUNIOR, J. (Ed.). **Citros**. Campinas: Instituto Agronômico; FUNDAG, 2005, p.61-104.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. Campinas, Instituto Agronômico, 285p. 2001
- RAMFUL, D. et al. Polyphenol composition, vitamin C content and antioxidant capacity of Mauritian citrus fruit pulps. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2088–2099, 2011.
- ROBBERS JE, SPEEDIE MK, TYLER VE. **Farmacognosia e farmacobiocologia**. São Paulo: Premier, 1997. 327p
- ROSSI, M. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br>>. Acesso em: 4 mar. 2023.
- SAINI, M. K.; CAPALASH, N.; KAUR, C.; SINGH, S. P. Comprehensive metabolic profiling to decipher the influence of rootstocks on fruit juice metabolome of Kinnow (*C. nobilis* × *C. deliciosa*). **Scientia Horticulturae**, v. 257, n. July, p. 108673, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108673>>.
- SCHÄFER, G.; BASTIANEL, M.; DORNELLES, A. L. C. Porta-enxertos utilizados na citricultura. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, p. 723–733, 2001.
- SHARMA, S.; ADAMS, J. P.; SAKUL, R.; MARTIN, E. M.; RICKE, S. C.; GIBSON, K. E.; CARRIER, D. J. Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) essential oil yields affected by environmental and physiological changes. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 35, n. 6, p. 417–430, 17 ago. 2016.
- SHAW, P.E. and WILSON, C.W., III (1984), A Rapid Method for Determination of Limonin in Citrus Juices by High Performance Liquid Chromatography. *Journal of Food Science*, 49: 1216-1218.
- SILVA, A. P. G. et al. Volatile Compounds Determined by SPME-GC, Bioactive Compounds, In Vitro Antioxidant Capacity and Physicochemical Characteristics of Four Native Fruits from South America. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 3, p. 358–363, 2019.
- SILVA, F. C. da. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes -. v. 2a Edição, 2009.
- STUCHI, E. S. et al. **trifoliata “Flying Dragon”: Porta-enxerto para plantios adensados e irrigados de laranjeiras doces de alta produtividade e sustentabilidade**. Cruz das Almas: Embrapa, 2012. 7 p. (Boletim Técnico 152).
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA**. Foreign Agricultural Service. 2019. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/commodities/citrus-fruit>>. Acesso em: 22 de março de 2020.
- UNIVERSIDADE DA CALIFORNIA. Limoneira 8A Lisbon Lemon. 2006. Disponível em:<[https://ccpp.ucr.edu/variety/380.html?\\_gl=1\\*13wmcuz\\*\\_ga\\*MjEwNjk2NjQ5Mi4xNjc3ODc2NjEw\\*\\_ga\\_S8BZQKWST2\\*MTY3Nzg3NjYwOS4xLjEuMTY3Nzg3NzIwOS4wLjAuMA.\\*\\_ga\\_Z1RGSBHB7\\*MTY3Nzg3NjYwOS4xLjEuMTY3Nzg3NzIwOS4wLjAuMA](https://ccpp.ucr.edu/variety/380.html?_gl=1*13wmcuz*_ga*MjEwNjk2NjQ5Mi4xNjc3ODc2NjEw*_ga_S8BZQKWST2*MTY3Nzg3NjYwOS4xLjEuMTY3Nzg3NzIwOS4wLjAuMA.*_ga_Z1RGSBHB7*MTY3Nzg3NjYwOS4xLjEuMTY3Nzg3NzIwOS4wLjAuMA)>. Acesso em: 02 de março de 2023
- VERZERA, A.; TROZZI, A.; GAZEA, F.; CICCARELLO, G.; COTRONEO, A. Effects of rootstock on the composition of bergamot (*Citrus bergamia* risso et poiteau) essential oil. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, n. 1, p. 206–210, 1 jan. 2003.

- WU, G. A. et al. Genomics of the origin and evolution of Citrus. **Nature Publishing Group**, v. 554, p. 311–329, 2018.
- YILDIRIM, B. et al. Fruit yield and quality of santa teresa lemon on seven rootstocks in Adana (Turkey). **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 10, p. 1077–1081, 2010.
- ZEHRA, A.; CHOUDHARY, S.; NAEEM, M.; MASROOR KHAN, M. A.; KHAN, A.; AFTAB, T.; TARIQ AFTAB, C.; MASROOR, M. A. A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. **JMPS**, v. 7, n. 3, p. 99–106, 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/334710110>>.