

PATRÍCIA GRAOSQUE ULGUIM ZÜGE

**FENOLOGIA REPRODUTIVA, ESTADO NUTRICIONAL, MATURAÇÃO E
COMPOSTOS BIOATIVOS DE LICHIEIRA**

Botucatu

2023

PATRÍCIA GRAOSQUE ULGUIM ZÜGE

**FENOLOGIA REPRODUTIVA, ESTADO NUTRICIONAL, MATURAÇÃO E
COMPOSTOS BIOATIVOS DE LICHIEIRA**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia - Horticultura.

Orientadora: Profa. Dra. Sarita Leonel

Botucatu

2023

Z94f

Züge, Patrícia Graosque Ulguim

Fenologia reprodutiva, estado nutricional, maturação e compostos bioativos de lichieira / Patrícia Graosque Ulguim
Züge. -- Botucatu, 2023

124 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Sarita Leonel

1. Fenologia reprodutiva. 2. Maturação de lichia 'Bengal'. 3.
Estado nutricional de lichieira 'Bengal'. 4. Óleo essencial de
Litchi chinensis. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.


CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título:

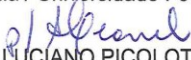
FENOLOGIA REPRODUTIVA, ESTADO NUTRICIONAL, MATURAÇÃO E COMPOSTOS BIOATIVOS DE LICHIEIRA

AUTORA: PATRÍCIA GRAOSQUE ULGUIM ZÜGE
ORIENTADORA: SARITA LEONEL


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia (Horticultura), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª SARITA LEONEL (Participação Presencial)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu UNESP


Prof. Dr. JACKSON MIRELLYS AZEVEDO SOUZA (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade Federal de Viçosa


Prof. Dr. LUCIANO PICOLOTTO (Participação Virtual)
Coordenadoria Especial de Ciências Biológicas e Agrônômicas / Universidade Federal de Santa Catarina


Prof. Dr. FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM (Participação Presencial)
Producao Vegetal / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu


Prof. Dr. GEAN CHARLES MONTEIRO (Participação Presencial)
Pós-Doutorando - Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 16 de junho de 2023.

Ao Diomerson e todos os que me apoiaram,

dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido Diomerson pelo apoio em todas as minhas decisões, pela paciência e companheirismo e principalmente por estar sempre comigo, mesmo a mais de 1500 km de distância.

A minha orientadora Profa. Dra. Sarita Leonel, paciência, ensinamentos, amizade e confiança.

Aos professores do programa de Pós-Graduação em Agronomia – Horticultura pelos ensinamentos.

Aos colaboradores da Fazenda Experimental de São Manuel, Wesley, Daniel, Valdemir e Willian sou muito grata por toda ajuda na condução dos pomares. Também aos residentes Marcelo e Rafael.

A Professores do CERAT pelo empréstimo de equipamentos e laboratórios.

A Professora Marcia do IAC pelo auxílio na condução de análises.

A Sandrinha por ser sempre estar disposta a auxiliar com as demandas de materiais.

Aos todos os colaboradores da FCA/UNESP que me auxiliaram durante o período de estudos.

Aos meus colegas Rafaelly, Jorgiani, Gabriel, Hebert, Paulo Ricardo, obrigada pelo apoio sempre quando precisei.

A Catarina, Rachel, Felipe e todos os alunos que acompanharam as atividades de campo e laboratório.

A Jordany, Geãn, Rafael e Júlio pela ajuda com análises.

A minha colega de AP Jéssyca, obrigada pelo acolhimento em Botucatu e principalmente pela amizade.

Ao Charles por todo apoio e paciência.

As professoras Karine e Mayara por todos os ensinamentos e boas conversas.

A minha família por torcerem por mim e me apoiarem.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a fenologia reprodutiva com a escala Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie (BBCH), determinar o estágio ideal de colheita, avaliar os teores nutricionais foliares e o óleo essencial de *Litchi chinensis* Sonn. Na avaliação da fenologia reprodutiva foi utilizado a escala BBCH, também foi avaliado crescimento do fruto de 'Bengal'. O experimento foi realizado nas safras de 2019 e 2021. As avaliações foram do início da emissão de inflorescências até frutos com 100% de coloração vermelha na casca. No crescimento dos frutos, foram avaliados a partir do subestádio 702 até o 809. Foram realizadas medições dos diâmetros longitudinal e transversal dos frutos. Concluiu-se que a fase reprodutiva da lichieira 'Bengal', varia entre 99 até 119 dias e o crescimento dos frutos, transversal é linear e o longitudinal é até 88,82 mm. Na caracterização físico-química e de compostos bioativos de 'Bengal', objetivou-se realizar as avaliações em diferentes estádios de maturação, para determinação do estágio ideal para colheita. Na safra 2019 foram cinco épocas/semanas de coleta de frutos e na safra 2021 foram seis épocas referentes ao início da mudança de cor no fruto até coloração total. Concluiu-se que o período entre a antese e o ponto de colheita, pode variar de 95 até 113 dias. Objetivou-se avaliar os teores foliares de nutrientes em diferentes estádios fenológicos da lichieira 'Bengal'. Avaliou-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. O delineamento foi inteiramente casualizado conduzido em parcelas subdivididas (4x3), estágio x ciclo, com 10 repetições. Os teores médios nas folhas, nas diferentes épocas de amostragem, seguiram a seguinte ordem em relação aos macronutrientes N>K>Mg>Ca>P>S e Mn>Fe>B>Zn>Cu para os micronutrientes. Objetivou-se extrair e identificar as substâncias presentes no óleo essencial de lichieira. Foram realizadas análises qualitativas e quantitativas da composição química. Foram identificados 22 compostos na folha, 18 na casca e 20 na semente. Concluiu-se que o óleo essencial de lichia (folha, casca e sementes) tem compostos com potencial para serem utilizados em diferentes seguimentos da indústria.

Palavras-chave: fenologia reprodutiva; teores nutricionais foliares; ponto de colheita; compostos bioativos; sesquiterpenos.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the reproductive phenology using the Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie (BBCH) scale, determine the ideal harvesting stage, evaluate the leaf nutritional content and the essential oil of *Litchi chinensis* Sonn. The BBCH scale was used to assess reproductive phenology, and 'Bengal' fruit growth was also evaluated. The experiment was carried out in the 2019 and 2021 harvests. The assessments were made from the start of inflorescence emission until the fruit had 100% red color on the skin. Fruit growth was assessed from sub-stage 702 to 809. The longitudinal and transverse diameters of the fruit were measured. It was concluded that the reproductive phase of the 'Bengal' lychee tree ranges from 99 to 119 days and that fruit growth is linear and longitudinal up to 88.82 mm. In the physicochemical and bioactive compound characterization of 'Bengal', the aim was to carry out evaluations at different stages of ripeness to determine the ideal stage for harvesting. In the 2019 harvest there were five seasons/weeks of fruit collection and in the 2021 harvest there were six seasons referring to the beginning of the color change in the fruit until full color. It was concluded that the period between anthesis and the point of harvest can vary from 95 to 113 days. The aim of this study was to evaluate the leaf nutrient content at different phenological stages of the 'Bengal' lychee tree. The levels of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulphur, boron, copper, iron, manganese and zinc were evaluated. The design was entirely randomized in subdivided plots (4x3), stage x cycle, with 10 repetitions. The average levels in the leaves at the different sampling times were in the following order for the macronutrients N>K>Mg>Ca>P>S and Mn>Fe>B>Zn>Cu for the micronutrients. The aim was to extract and identify the substances present in the essential oil of licheira. Qualitative and quantitative analyses of the chemical composition were carried out. Twenty-two compounds were identified in the leaf, 18 in the bark and 20 in the seed. It was concluded that lychee essential oil (leaf, bark and seeds) contains compounds with the potential to be used in different sectors of industry.

Keywords: reproductive phenology; leaf nutritional content; harvest point; bioactive compounds; sesquiterpenes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – Fenologia reprodutiva e crescimento dos frutos de lichieira em condição subtropical

- Figura 1 - Dados climáticos do pomar de lichieira 'Bengal', no período de avaliação da fenologia reprodutiva. São Manuel-SP, Brasil.....31
- Figura 2 - Balanço hídrico do pomar de lichieira 'Bengal'. São Manuel-SP, Brasil....32
- Figura 3 - Principais estádios da fenologia reprodutiva de lichieira 'Bengal'.....39
- Figura 4 - Diâmetro longitudinal e transversal no desenvolvimento do fruto de lichieira 'Bengal'.....40

Capítulo 2 – Maturação e compostos bioativos de lichia 'Bengal' cultivada em clima mesotérmico no Brasil

- Figura 1 - Plantas adultas de lichieira 'Bengal' utilizadas no experimento. São Manuel-SP.....49
- Figura 2 - Coloração da casca de lichia 'Bengal' ao longo das semanas de avaliação.....49
- Figura 3 - Dados climáticos do pomar de lichieira 'Bengal', no período de realização do experimento. São Manuel-SP, Brasil.....50
- Figura 4 - Balanço hídrico do pomar de lichieira 'Bengal'. São Manuel-SP, Brasil....51
- Figura 5 - Diâmetro longitudinal e transversal do frutos safra 2019 (A) Diâmetro longitudinal e transversal do frutos safra 2021.....58
- Figura 6 - Massa do fruto safra 2019 (A) e massa do fruto safra 2021 (B) de lichia 'Bengal'.....59
- Figura 7 - Rendimento de polpa safra 2019 (A) e rendimento de polpa safra 2021 (B) de lichia 'Bengal'.....60
- Figura 8 - Textura da casca de lichia 'Bengal', compressão fruto safra 2019 (A), compressão fruto safra 2021 (B), perfuração casca safra 2019 (C) e perfuração casca safra 2021 (D).....61
- Figura 9 - Parâmetros de coloração da casca de lichia 'Bengal'. Luminosidade safra 2021 (A), coordenada a^* safra 2019 (B) e coordenada a^* safra 2021 (C).....63

Figura 10 - Parâmetros de coloração da casca de lichia 'Bengal'. Cromo da casca safra 2019 (A) e safra 2021 (B).....	65
Figura 11 - Parâmetros de coloração da casca de lichia 'Bengal'. Ângulo Hue da casca safra 2019 (A) e Ângulo Hue da casca safra 2021 (B).....	66
Figura 12 - pH safra 2019 (A) e pH safra 2021 (B) do fruto de lichia 'Bengal'.....	67
Figura 13 - Sólidos solúveis safra 2019 do fruto de lichia 'Bengal'.....	13
Figura 14 - Acidez titulável safra 2019 (A) e acidez titulável safra 2021 (B) do fruto de lichia 'Bengal'.....	69
Figura 15 - Índice de maturação safra 2019 (A) e índice de maturação safra 2021 (B) do fruto de lichia 'Bengal'.....	70
Figura 16 - Ácido ascórbico safra 2019 (A) e ácido ascórbico safra 2021 (B) do fruto de lichia 'Bengal'.....	71
Figura 17 - Açúcares redutores safra 2019 (A) e açúcares redutores safra 2021 (B)...	72
Figura 18 - Açúcares totais safra 2019 (A) e açúcares totais safra 2021 (B).....	73
Figura 19 - Compostos bioativos de lichia 'Bengal' Safra2021/2022. Capacidade antioxidante na casca e na polpa, método DPPH (A), capacidade antioxidante na casca e polpa, método FRAP (B).....	74
Figura 20 - Compostos bioativos de polpa de lichia 'Bengal' Safra2021/2022. Compostos fenólicos totais na casca e polpa (A), flavonoides na polpa (B) e flavonoides na casca (C).....	75
Figura 21 - Análise de componentes principais dos descritores fisiológicos da maturação da lichia 'Bengal' realizada na safra 2021. A: PCA gráfico individual. B: PCA gráfico com as principais variáveis.....	77
Figura 22 - Correlação entre os descritores fisiológicos de maturação de lichia 'Bengal'.....	78

Capítulo 3 – Teores nutricionais foliares de lichieira em diferentes estádios fenológicos

Figura 1 - Dados climáticos do pomar de lichieira 'Bengal', no período de realização do experimento com indicação dos períodos de coleta das folhas para análise nutricional. São Manuel-SP, Brasil.....	90
Figura 2 - Balanço hídrico do pomar de lichieira 'Bengal'. São Manuel-SP, Brasil....	90
Figura 3 - Lichieira 'Bengal' em diferentes estádios fenológicos. A: Vegetativo. B: Floração plena. C: Fruto maduro. D: 40 dias após a colheita.....	92

Figura 4 - Correlação entre os teores de nutrientes nas folhas de lichieira em diferentes estádios fenológicos. A: Fruto maduro. B: Floração plena. C: Após a colheita. D: Período vegetativo.....100

Capítulo 4 – Prospecção e caracterização de óleo essencial de *Litchi chinensis* sonn.

Figura 1 - Plotagem de pontuações e PCA biplot entre os componentes principais em função da composição química do óleo essencial de folha, casca de fruto e semente de lichia 'Bengal'113

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1 – Fenologia reprodutiva e crescimento dos frutos de lichieira em condição subtropical

Tabela 1 – Caracterização do solo nas camadas 0-20 e 20-40 cm na área experimental de cultivo de lichieira ‘Bengal’, São Manuel-SP33

Tabela 2 – Representação esquemática da progressão cronológica dos estádios de crescimento fenológico reprodutivo de lichieira ‘Bengal’37

Capítulo 3 – Teores nutricionais foliares de lichieira em diferentes estádios fenológicos

Tabela 1 – Caracterização do solo nas camadas 0-20 e 20-40 cm na área experimental de cultivo de lichieira ‘Bengal’, São Manuel-SP89

Tabela 2 – Métodos de avaliação dos teores nutricionais foliares de lichieira ‘Bengal’93

Tabela 3 – Análise de variância dos dados dos teores nutricionais de lichieira ‘Bengal’95

Tabela 4 – Médias dos teores nutricionais foliares de lichieira ‘Bengal’, nos diferentes estádios fenológicos96

Capítulo 4 – Prospecção e caracterização de óleo essencial de *Litchi chinensis* sonn.

Tabela 1 – Médias do teor de óleo essencial de lichia ‘Bengal’111

Tabela 2 – Composição química (%) dos óleos essenciais de folha, casca e semente de lichia ‘Bengal’112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CERAT	Centro de Raízes e Amidos Tropicais
CAD	Capacidade de água disponível
RP	Rendimento de polpa
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas
PCA	Análise de componentes principais
FCA	Faculdade de Ciências Agrônômicas
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
BBCH	Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie
DAA	Dias após a antese
AT	Açúcares totais
AR	Açúcar redutor
ANR	Açúcar não redutor
IM	Índice de maturação
EUA	Estados Unidos da América

LISTA DE SÍMBOLOS

B	Boro
Ca	Cálcio
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
P	Fósforo
S	Enxofre
Zn	Zinco
pH	Potencial hidrogeniônico
SB	Soma de bases
CTC	Capacidade de troca de cátions
V%	Saturação por bases
M.O.	Matéria Orgânica

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	25
CAPÍTULO 1 – FENOLOGIA REPRODUTIVA E CRESCIMENTO DOS FRUTOS DE LICHIEIRA EM CONDIÇÃO SUBTROPICAL	28
1.1 INTRODUÇÃO.....	29
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
1.2.1 Localização da área experimental e material vegetal.....	31
1.2.2 Solo, clima e tratos culturais.....	31
1.2.3 Fenologia reprodutiva em clima temperado quente, mesotérmico.....	34
1.2.4 Crescimento dos frutos.....	35
1.2.5 Delineamento experimental e metodologia estatística.....	35
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
1.3.1 Fenologia reprodutiva em clima temperado quente, mesotérmico.....	35
1.3.2 Crescimento dos frutos.....	40
1.4 CONCLUSÕES.....	40
REFERÊNCIAS.....	42
CAPÍTULO 2 – MATURAÇÃO E COMPOSTOS BIOATIVOS DE LICHIA ‘BENGAL’ CULTIVADA EM CLIMA MESOTÉRMICO NO BRASIL	45
2.1 INTRODUÇÃO.....	46
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.2.1 Localização da área experimental e material vegetal.....	48
2.2.2 Solo, clima e tratos culturais.....	49
2.2.3 Análises físico-químicas.....	51
2.2.4 Delineamento experimental e análise dos dados.....	56
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
2.4 CONCLUSÕES.....	79
REFERÊNCIAS.....	80
CAPÍTULO 3 – TEORES NUTRICIONAIS FOLIARES DE LICHIEIRA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS	84
3.1 INTRODUÇÃO.....	85
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	87
3.2.1 Localização da área experimental e material vegetal.....	87

3.2.2	Solo e amostragem da área experimental.....	87
3.2.3	Clima e balanço hídrico.....	88
3.2.4	Manejo e tratos culturais.....	90
3.2.5	Coletas e análise de folhas.....	91
3.2.6	Delineamento experimental e metodologia estatística.....	92
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
3.4	CONCLUSÕES.....	100
	REFERÊNCIAS.....	101
CAPÍTULO 4 – PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CASCAS, SEMENTES E FOLHAS <i>Litchi chinensis</i> Sonn.....		
4.1	INTRODUÇÃO.....	105
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	107
4.2.1	Material vegetal e caracterização da área.....	107
4.2.2	Extração do óleo essencial.....	107
4.2.3	Análise da composição química do óleo essencial.....	108
4.2.4	Rendimento de óleo essencial.....	109
4.2.5	Análise estatística.....	109
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	109
4.4	CONCLUSÕES.....	114
	REFERÊNCIAS.....	115
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	119
	REFERÊNCIAS.....	121

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é destaque mundial na produção de diversas frutas, onde o setor da fruticultura contribui para geração de emprego e renda. A lichia (*Litchi chinensis* Sonn.) é uma fruta que vem ganhando popularidade entre os consumidores no mundo todo, devido a sua aparência, aroma e sabor (Karuna et al., 2018). Além disso, possui importante valor nutricional, sendo rica em propriedades funcionais, proteínas, cálcio, fósforo, ferro e vitaminas (KouL; Singh, 2017).

Cultivada em áreas subtropicais e tropicais do mundo (Liu et al., 2015), a lichieira é da família Sapindaceae. O gênero *Litchi* inclui três subespécies, a *Litchi chinensis* ssp. *philippinensis* (Radlk.) Leenh., a *Litchi chinensis* ssp. *javensis* Leenh. e *Litchi chinensis* ssp. *chinensis* (Leenhouts, 1978). A *Litchi chinensis* ssp. *chinensis* é a principal e cultivada comercialmente (Tindall, 1994).

No Brasil são cultivados aproximadamente 1700 hectares com lichieira, sendo o estado de São Paulo, principal produtor nacional, responsável por 58% da área total cultivada e 54% da produção total (IBGE, 2023).

As temperaturas entre 20 a 35°C são ideais para o cultivo da lichieira, sendo 30°C a temperatura ótima para a cultura (Batten; Lahav, 1994; Saúco; Manini, 1987). Os fatores edafoclimáticos e genéticos, interferem sobre o comportamento fenológico. A floração, por exemplo, é um estágio fenológico altamente responsivo à temperatura, onde as espécies exibem diferentes respostas quando submetidas às condições ambientais distintas (El Yaacoubi et al., 2014; Pertille et al., 2022). Portanto, são necessários estudos sobre o desempenho de genótipos de lichieira nas diferentes regiões de cultivo, de modo a auxiliar na adequação do manejo e tratos culturais dos pomares.

A cultivar Bengal é a mais cultivada no Brasil, com moderado vigor e altamente produtiva, porém possui alternância de produção e frutos com baixo rendimento de polpa, devido à baixa formação dos arilos (Saúco; Menini, 1987; Menzel, 2002). Além disso, a lichieira apresenta naturalmente alta porcentagem de abscisão durante o desenvolvimento dos frutos (Wang; Lai; Huang, 2017), podendo ser agravado por deficiência nutricional e fatores climáticos.

No Brasil, para a cultura da lichieira ainda são escassos os estudos voltados ao manejo nutricional, necessita-se de recomendações em função da região de

cultivo, pois em geral, as indicações de adubação são de pesquisas realizadas em outros países (Grassi Filho; Santos; Creste, 2012).

O estágio fisiológico e idade da planta são responsáveis por variações na absorção de nutrientes minerais (Fernandes; Nascimento, 2004). Em pomares de lichieira na Austrália, foi observado variação sazonal na concentração de alguns nutrientes nas folhas (Menzel et al., 1992). Além disso, após a colheita dos frutos o teor de potássio (K) diminui, podendo afetar a produção no ano seguinte (Yang et al., 2014). Diante disso, o conhecimento da dinâmica dos nutrientes nos diferentes estádios fenológicos, ao longo do cultivo, torna-se uma importante ferramenta para o planejamento da nutrição e adubação dos pomares.

A colheita de lichia é concentrada em um restrito período e além disso, é um fruto que tem vida de prateleira curta quando armazenados em temperatura ambiente (Jiang et al., 2006; Le et al., 2019; Qiao; Huang; Xia, 2012), pois ocorre o escurecimento da casca que é atribuído há uma série de fatores, entre eles a perda de água, degradação de antocianinas e oxidação de compostos fenólicos (Jiang et al., 2004; Jiang; FU, 1999; Tang et al., 2020).

A principal forma de consumo da lichia é *in natura*, também são comercializados os arilos embalados a vácuo, secos, enlatados e o suco (Jiang; Gao; Zhang, 2012; Kisku et al., 2017; Li et al., 2009; Bolaños et al., 2010).

A casca e a semente de lichia como subprodutos representam de 16 a 40% do peso total da fruta, depende da cultivar, eles podem ser utilizados potencialmente como uma fonte de antioxidantes naturais, para fins farmacêuticos (Jiang; Gao; Zhang, 2012).

Vários compostos da polpa, casca, sementes e folhas da lichieira tem sido identificados e possuem propriedades antioxidante (Castellain et al., 2014; Wen et al., 2015), antiviral (Sun et al., 2010) e antibacteriana (Zhang et al., 2013; Wen et al., 2014). Esses compostos têm sido utilizados há mais de 1000 anos em medicina alternativa, principalmente na China e países do continente asiático, local de origem da lichieira (Wang; Lai; Huang, 2017).

Em estudos realizados com óleo essencial de folhas de lichieira, foram identificados 20 compostos, alguns com alta atividade antimicrobiana (Rawat et al., 2017; WANG et al., 2013). Os óleos essenciais extraídos de plantas vem demonstrando atividade biológica contra um significativo número de patógenos fitopatogênicos (Zaker, 2016), inseticida (Isman; Miresmaill; Machial, 2011) e também atividade antioxidante (Teixeira et al., 2013). A extração de óleo essencial de diferentes partes das plantas

frutíferas pode ser uma alternativa rentável, porém, são necessárias pesquisas para identificação de compostos e estudos *in vitro* para avaliar o uso potencial (Bizzo; Hovell; Rezende, 2009).

A abordagem proposta neste trabalho reúne as vantagens de combinarmos um conhecimento amplo da cultura da lichieira, que contempla a parte de fenologia, dinâmica nutricional na planta ao longo dos estádios fenológicos, maturação e compostos bioativos nos frutos, além da prospecção de utilização de subprodutos para extração de óleo essencial.

Diante disso, objetivou-se avaliar a fenologia reprodutiva da lichieira, utilizando a escala BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie), o crescimento de frutos, caracterização físico-química e compostos bioativos para determinação do ponto de colheita, bem como avaliação dos teores nutricionais nos diferentes estádios fenológicos. Também foi objetivo do estudo, realizar a prospecção e caracterização do óleo essencial de possíveis subprodutos decorrentes do cultivo, tais como casca, sementes e folhas de lichieira.

CAPÍTULO 1

FENOLOGIA REPRODUTIVA E CRESCIMENTO DOS FRUTOS DE LICHIEIRA EM CONDIÇÃO SUBTROPICAL

RESUMO

A lichieira (*Litchi chinensis* Sonn.) é uma planta nativa de regiões de clima subtropical frio, do Sul da China. No Brasil, a cultivar 'Bengal' é a mais importante economicamente e melhor vista no mercado consumidor. Objetivou-se avaliar a fenologia reprodutiva usando a escala BBCH e crescimento de fruto de lichieira 'Bengal' na região com clima mesotérmico no Brasil. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), São Manuel-SP, Brasil. A cultivar utilizada foi a Bengal, em condições de sequeiro, nas safras 2019 e 2021. Foram marcados ramos em 30 plantas e as avaliações foram realizadas a cada sete dias, seguindo a escala Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie (BBCH). Também foi realizada a avaliação de crescimento dos frutos. Para fins de avaliação, nos anos de obtenção dos dados houve diferenças climáticas. Foram observadas diferenças nos padrões de precipitação, sendo o período de maior déficit hídrico foi no ano de 2020. Em 2019 a emergência da inflorescência ficou visível a partir da primeira quinzena de agosto, porém em 2021 foi na segunda quinzena de junho. O período de floração durou entre 15 a 35 dias, sendo o período mais curto no ano de 2019. As primeiras flores a abrirem foram as do tipo I (funcionalmente masculinas). O maior índice de queda dos frutos foi observado após o estágio de frutos conjugados e início do crescimento de apenas um dos lados. Contudo, a fase reprodutiva da lichieira 'Bengal' nas condições climáticas subtropical pode variar entre 99 até 119 dias. Em 70 dias após a antese os frutos tem pouco crescimento longitudinal, por outro lado o crescimento transversal têm aumento até o fruto chegar em estágio de colheita.

Palavras-chave: biometria de frutos; escala BBCH; *Litchi chinensis* Sonn.

ABSTRACT

The lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) is a native plant of regions with a cold subtropical climate. In Brazil, the cultivar 'Bengal' is the most economically important. The objective was to evaluate the reproductive phenology using the BBCH scale and fruit growth of lychee 'Bengal' in the mesothermal climate region of Brazil. The experiment was conducted at Fazenda Experimental São Manuel, School of Agriculture (FCA), São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), São Manuel-SP, Brazil. The cultivar used was Bengal, under dryland conditions, in the 2019 and 2021 harvests. Branches were marked on 30 plants and evaluations were performed every seven days, following the Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt, and Chemische Industrie scale (BBCH). Fruit growth was also assessed. For evaluation purposes, there were climatic differences in the years in which the data was collected. Differences in rainfall patterns were observed, with the period of greatest water deficit being in 2020. In 2019, inflorescence emergence was visible from the first half of August, but in 2021 it was in the second half of June. The flowering period lasted between 15 and 35 days, with the shortest period in 2019. The first flowers to open were type I (functionally male). The highest rate of fruit drop was observed after the conjugated fruit stage and the start of growth on only one side. However, the reproductive phase of the 'Bengal' lychee tree in subtropical climatic conditions can vary from 99 to 119 days. At 70 days after anthesis, the fruit has little longitudinal growth, while transverse growth increases until the fruit reaches the harvest stage.

Key words: fruit biometry; BBCH scale; *Litchi chinensis* Sonn.

1.1 INTRODUÇÃO

A lichieira (*Litchi chinensis* Sonn) é uma frutífera da família Sapindaceae, que compreende aproximadamente 2000 espécies. O gênero *Litchi* tem três subespécies, sendo a *Litchi chinensis* ssp. *chinensis* a principal cultivada comercialmente (Tindall, 1994).

Esta planta é nativa de regiões de clima subtropical do Sul da China e Norte do Vietnã (Lora; Pham; Hormaza, 2018). Em regiões de clima tropical, as plantas crescem muito bem vegetativamente, porém apresentam problemas na floração e na frutificação (Menzel; Paxton, 1984).

A cultivar Bengal é a principal cultivada no Brasil (Lederman et al., 2008), é vigorosa porém têm variações significativas entre os ciclos produtivos. As brotações novas tem folíolos de coloração marrom-avermelhado, os frutos são arredondados com formato cordiforme e ombros irregulares, formados em cachos. A casca dos frutos é rugosa e de coloração vermelha (Menzel, 2002).

No Brasil, a lichia passou a ter importância econômica somente a partir de 1990 (MANICA, 2002), sendo o estado de São Paulo o principal produtor, responsável por mais da metade de toda produção nacional de lichia (IBGE, 2023).

A lichia é bastante apreciada, principalmente devido a sua aparência, aroma e sabor (Karuna et al., 2018; Koul; Singh, 2017). Além disso, tem importante valor nutricional e é rica em propriedades funcionais (Anjum et al., 2017; Pareek, 2016). O fruto é classificado como drupa, com um arilo comestível (polpa) de coloração branca, semi-translúcida (Singh; Pandey; Nath, 2012), e amadurecem de forma escalonada.

Entre um ciclo reprodutivo e outro, a lichieira passa por sete estádios fenológicos principais, sendo eles: o desenvolvimento das brotações, o surgimento das folhas, o desenvolvimento da parte aérea, a emissão da inflorescência, a floração, o desenvolvimento do fruto e a maturação (Wei et al., 2013). Esta planta apresenta três tipos de flores, as classificadas como tipo I ou M1 (funcionalmente masculinas), que tem os estames funcionais mas os óvulos são subdesenvolvidos, as tipo II ou F1 (funcionalmente femininas) e as tipo III ou M2 (são hermafroditas funcionais masculinas) (Nakasone; Paull, 1998; Lora; Pham; Hormaza, 2018).

No florescimento da lichieira que é uma planta auto compatível, acontece a dicogamia, na qual o período de abertura das flores funcionalmente masculinas não ocorre de modo sincronizado com a abertura das flores funcionalmente femininas (Wang; Lai; Huang, 2017). Além disso, as condições climáticas e o genótipo influenciam no número e proporção sexual de flores (Wei et al., 2013).

Por ser uma cultura bastante sensível às mudanças climáticas, o sucesso na floração da lichieira está atrelado à invernos secos e pelo menos 200 horas com temperaturas baixas (<13°C) durante o período de pré-floração, para favorecer as mudanças fisiológicas necessárias para indução do florescimento (Malhotra; Singh; Nath, 2018; Saúco; Manini, 1987). Porém, durante o período de desenvolvimento dos frutos, o estresse hídrico afeta tanto a divisão, quanto o alongamento celular (Wang; Lai; Huang, 2017).

Além da escala fenológica ser útil para entender o crescimento e desenvolvimento das plantas (Ramírez; Davenport, 2016), também são úteis para como uma ferramenta descritiva para auxiliar na adequação do manejo e tratamentos culturais dos pomares, visando futuras recomendações técnicas. A escala BBCH (Biologische Bundesantalt, Bundessortenamt and Chemische Industrie) é usada para categorizar os estágios de crescimento de uma variedade de plantas perenes, bienais e anuais (Hack et al., 1992). Esta escala consiste geralmente em 10 estágios principais (0 a 9), que são divididos em 10 estágios de crescimento secundários (0 a 9). Na cultura da lichieira o ideal é a utilização da escala BBCH estendida com três dígitos (Wei et al., 2013). Diante disso, o estudo teve como objetivo avaliar a fenologia reprodutiva usando a escala BBCH e o crescimento do fruto de lichieira 'Bengal', na região com clima temperado quente, mesotérmico, do estado de São Paulo, Brasil.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Localização da área experimental e material vegetal

O pomar está situado a 22°46' S e 48°34' O, com 740 m de altitude, na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), São Manuel-SP, Brasil.

A cultivar em estudo foi a Bengal, com 11 anos de idade (2019) cultivadas num espaçamento de 5 m entre plantas e 6 m entre linhas, em condições de sequeiro.

1.2.2 Solo, clima e tratamentos culturais

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura arenosa (Santos et al., 2018).

O clima na região segundo a classificação de Koppen, é o temperado quente (tipo Cfa), mesotérmico com temperatura média do mês mais quente, superior a 22°C, invernos secos e maior precipitação no verão (Cunha; Martins, 2009).

Durante todo período de condução do experimento foram realizadas coletas diárias dos dados climáticos (temperatura, precipitação e umidade) na estação meteorológica, localizada próximo ao pomar, ± 50 m (Figura 1).

O manejo de adubação foi realizado de acordo com a análise de solo (Tabela 1). As aplicações foram em duas épocas, abril (período vegetativo) e outubro (período de desenvolvimento dos frutos). As recomendações de adubação foram adaptadas com informações obtidas no Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (Raij et al., 1997) e de Nakasone e Paull (1998).

Tabela 1 – Caracterização do solo nas camadas 0-20 e 20-40 cm na área experimental de cultivo de lichieira ‘Bengal’, São Manuel-SP

Parâmetro	Profundidade (cm)				Profundidade (cm)							
	0-20				0-40							
	2019 Out	2020 Mar	2021 Out	2022 Mar	2019 Out	2020 Mar	2021 Out	2022 Mar				
pH (CaCl ₂)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,60	5,20	5,00	5,10	5,60	5,40	5,70	5,20
SB (mmol/dm ³)	13,00	11,00	13,00	14,00	19,00	14,00	16,00	12,00	16,00	19,00	20,00	15,00
CTC (mmol/dm ³)	26,00	22,00	28,00	28,00	31,00	26,00	28,00	23,00	28,00	32,00	31,00	27,00
V%	50,00	48,00	49,00	49,00	60,00	53,00	57,00	53,00	58,00	58,00	64,00	56,00
M.O. (g/dm ³)	27,00	9,00	6,00	5,00	18,00	5,00	5,00	8,00	5,00	3,00	3,00	3,00
P _{resina} (mg/dm ³)	8,00	8,00	11,00	12,00	18,00	17,00	8,00	5,00	12,00	7,00	10,00	7,00
H+Al (mmol/dm ³)	13,00	12,00	14,00	14,00	13,00	12,00	12,00	11,00	12,00	14,00	11,00	12,00
K (mmol/dm ³)	0,90	0,30	1,20	1,80	1,10	1,30	0,50	0,20	0,80	1,10	0,70	1,20
Ca (mmol/dm ³)	10,00	7,00	8,00	7,00	12,00	8,00	12,00	9,00	10,00	11,00	13,00	9,00
Mg (mmol/dm ³)	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	5,00	3,00	3,00	5,00	6,00	7,00	5,00
S* (mg/dm ³)	–	–	–	3,00	3,00	6,00	–	–	–	2,00	3,00	4,00
B (mg/dm ³)	0,19	0,10	0,14	0,26	0,19	0,23	0,16	0,09	0,08	0,23	0,11	0,25
Cu (mg/dm ³)	0,90	1,30	1,20	1,70	1,60	1,80	1,10	1,80	0,90	2,10	0,80	3,70
Fe (mg/dm ³)	19,00	14,00	14,00	24,00	12,00	13,00	17,00	12,00	11,00	16,00	10,00	11,00
Mn (mg/dm ³)	11,40	6,40	25,60	17,00	13,80	10,20	9,60	4,80	7,10	9,80	8,10	9,60
Zn (mg/dm ³)	0,70	0,90	1,10	1,10	0,90	2,60	0,40	0,70	0,70	0,80	0,40	1,80

* Enxofre (S) avaliado somente nos anos de 2021 e 2022.

No início de março, com as plantas em estágio vegetativo, foram realizadas podas de limpeza para retirada de ramos com sintomas do ácaro-da-erínose-da-lichia (*Aceria litchii* Keifer). Durante o período de condução do estudo, o controle do ácaro-da-erínose-da-lichia também foi realizado com aplicações de acaricida a base de enxofre (800 g kg⁻¹) na dosagem de 300 kg p.c. ha⁻¹ e calda de 1000 L ha⁻¹. O controle de plantas espontâneas no pomar foi realizado com roçadas mecanizadas e capina manual.

1.2.3 Fenologia reprodutiva em clima temperado quente, mesotérmico

O experimento foi realizado nas safras de 2019 e 2021. Em 30 plantas em estágio de desenvolvimento homogêneo foram marcados cinco ramos para avaliação (Salomão et al., 2006). As avaliações foram realizadas somente na fase reprodutiva da lichieira e tiveram início com os primeiros indícios de emissão de inflorescências e foram até os frutos com 100% de coloração vermelha na casca. O intervalo de avaliações foi a cada sete dias, com base na adaptação da metodologia proposta por Wei et al. (2013), foram determinados os intervalos de cada estágio fenológico, seguindo a escala BBCH, proposta por estes autores:

- **Estádio 5:** Emergência da inflorescência:

- 504: Surgimento da panícula;
- 505: Alongamento da panícula;
- 509: Fim do desenvolvimento da panícula (botões florais inchados).

- **Estádio 6:** Floração (primeiro fluxo):

- 610: Primeiras flores abertas;
- 615: Floração plena, mais de 50% das flores da panícula se abrem;
- 617: Início queda das pétalas.

- **Estádio 7:** Desenvolvimento dos frutos:

- 700: Frutos conjugados;
- 701: Início crescimento ovários;
- 702: Um dos frutos conjugados cresce;
- 703: Fruto com 30% do tamanho final;
- 707: Fruto cerca de 70% do tamanho final.

- **Estádio 8:** Maturação dos frutos:

- 801: Início da mudança de coloração (5 a 10% de coloração rósea);
- 802: Mudança de coloração (30% a 50% de coloração rósea);
- 805: Amadurecimento avançado, aumento da intensidade da cor vermelha;
- 809: Fruto com 100% de coloração vermelha.

1.2.4 Crescimento dos frutos

Dois ramos, com frutos no estágio 702, foram marcados em dez plantas para a avaliação do crescimento dos frutos na safra de 2019. As avaliações foram realizadas sempre nos mesmos frutos ao longo do crescimento e desenvolvimento na planta.

Foram realizadas medições dos diâmetros longitudinal e transversal dos frutos, com auxílio de um paquímetro digital em intervalos de sete dias, até o fruto com 100% de coloração vermelha na casca no estágio 809.

1.2.5 Delineamento experimental e metodologia estatística

Na avaliação de crescimento dos frutos foram dez repetições, com dez frutos cada (cinco em cada ramo). Na análise estatística foi realizado inicialmente a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Os dados foram analisados por meio de regressão polinomial utilizando-se o programa estatístico Rbio (Bhering, 2017).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Fenologia reprodutiva em clima temperado quente, mesotérmico

No ano de 2020 a maioria das plantas ficaram em estágio vegetativo, por isso as avaliações de fenologia reprodutiva, foram realizadas somente nos anos de 2019 e 2021.

Entre os anos de avaliação, tiveram diferenças climáticas. Em 2019, de janeiro a março foram os meses mais quentes, ao serem comparadas as médias dos demais anos (2020 e 2021) neste mesmo período (Figura 1). Durante o período de floração no mês de setembro, a temperatura média de 2019 ficou menor que 2020 e 2021 (Figura 1).

Foram observadas diferenças nos padrões de precipitação, o período de maior déficit hídrico foi no ano de 2020, onde além da distribuição desigual de precipitação, com superávit de 345 mm em janeiro e fevereiro, ocorreu déficit nos meses de março até novembro (Figura 2).

No ano de 2020, que não ocorreu a florada adequada, com a maioria das plantas ficaram somente em estágio vegetando, emitindo brotações novas, isso pode ser explicado pela competição de reservas da planta, que são destinadas para emissão brotações ao invés das inflorescências. Outros fatores podem ser a nutrição das plantas, estresse hídrico e temperatura antes da florada. Neste sentido, as condições climáticas desfavoráveis podem ser responsáveis pelo desequilíbrio hormonal em lichieira, dificultando o desenvolvimento das plantas e a frutificação (Solo et al., 2019). Estes mesmos autores observaram que mudanças nos teores de auxina e ácido abscísico nas folhas podem indicar uma sensibilidade da lichieira à variabilidade climática.

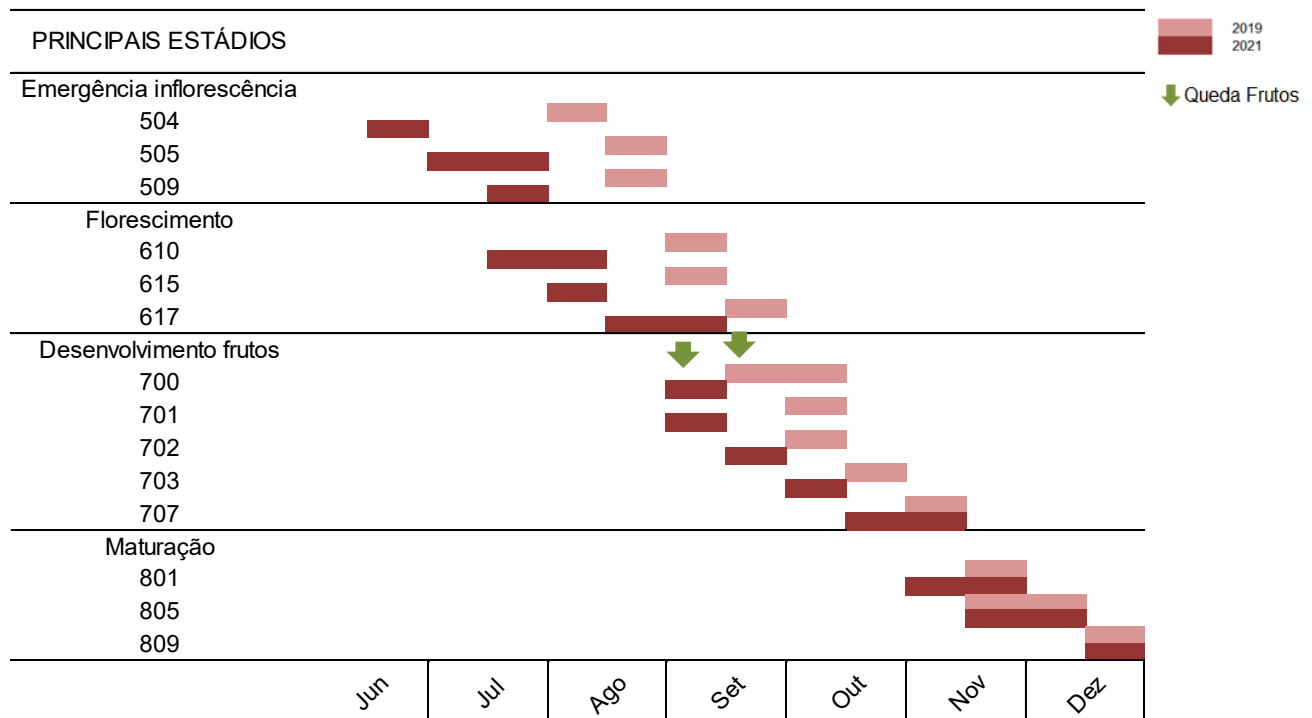
Na fenologia reprodutiva da lichieira, o primeiro estágio é a emergência da inflorescência, com sete subdivisões. O primeiro evento classificado seguindo a escala BBCH é classificado como 500, onde os botões da inflorescência estão completamente fechados. No campo foi observado a partir do subestádio 504, com a panícula visível, cada um dos subestádios estão indicados na figura 3.

Em 2019 a emergência da inflorescência ficou visível a partir da primeira quinzena de agosto, porém em 2021 foi na segunda quinzena de junho. Os eventos de emergência da panícula, florescimento e desenvolvimento dos frutos, ocorreram mais tardios na safra 2019, porém no estágio de maturação dos frutos as duas safras foram parecidas, realizando-se a colheita antes de 20 de dezembro (Tabela 2).

Estas diferenças entre os anos avaliados pode ser diretamente relacionada as diferenças climáticas que ocorreram entre as safras, porém isto também pode ter relação com a característica de alternância de produção da lichieira. A época de transição floral é influenciada por fatores endógenos e ambientais que desencadeiam ou reprimem a mudança do meristema caulinar desde a geração das folhas até o desenvolvimento dos órgãos reprodutivos (Hanke et al., 2007). Por isso, são tão necessários estudos para o melhor entendimento da fenologia da planta e o que envolve fenômenos como a bienalidade (Wilkie et al., 2008).

Durante o inverno são necessários pelo menos 200 horas com temperaturas $\leq 13^{\circ}\text{C}$ durante o período de pré-floração, para favorecer as mudanças fisiológicas necessárias para indução do florescimento (Malhotra; Singh; Nath, 2018; Saúco; Manini, 1987). Por outro lado, o clima frio durante a floração da lichieira interfere diretamente no tamanho da inflorescência e taxa de frutificação, além disso causa atraso na floração (Chen, 2013).

Tabela 2 – Representação esquemática da progressão cronológica dos estádios de crescimento fenológico reprodutivo de lichieira ‘Bengal’



O período de floração durou entre 15 a 35 dias, o período mais curto (primeiras flores até senescência) foi no ano de 2019. Em 2021, este estágio durou mais pois algumas plantas atrasaram a abertura das flores. As primeiras flores a abrirem foram as do tipo I, que permaneceram por mais tempo, posteriormente as flores tipo II também abriram, ficando na panícula os dois tipos de flores. Em um curto período também observou-se flores tipo III, juntamente com tipo I e II. Por fim, tem a abertura de mais flores tipo I, em panículas com frutos em desenvolvimento inicial, conjugados (Figura 3). Para comparação, em estudo realizado no norte de Israel com a cultura da lichieira, a floração durou de 20 a 25 dias (Degani et al., 1995). Nos Estados Unidos, tanto no Havaí quanto na Flórida, a sequência normal de floração da lichieira, é primeiramente a abertura de flores tipo I por aproximadamente 10 dias, depois por dois a três dias ocorre a abertura simultânea de flores tipo I e tipo II, posteriormente abrem-se só as tipo II, que ficam abertas por dois dias, depois as tipo II e tipo III, abertas por dois a três dias e por fim ocorre a abertura somente das flores tipo III, que ficam abertas de sete a dez dias (Saúco; Manini, 1987).

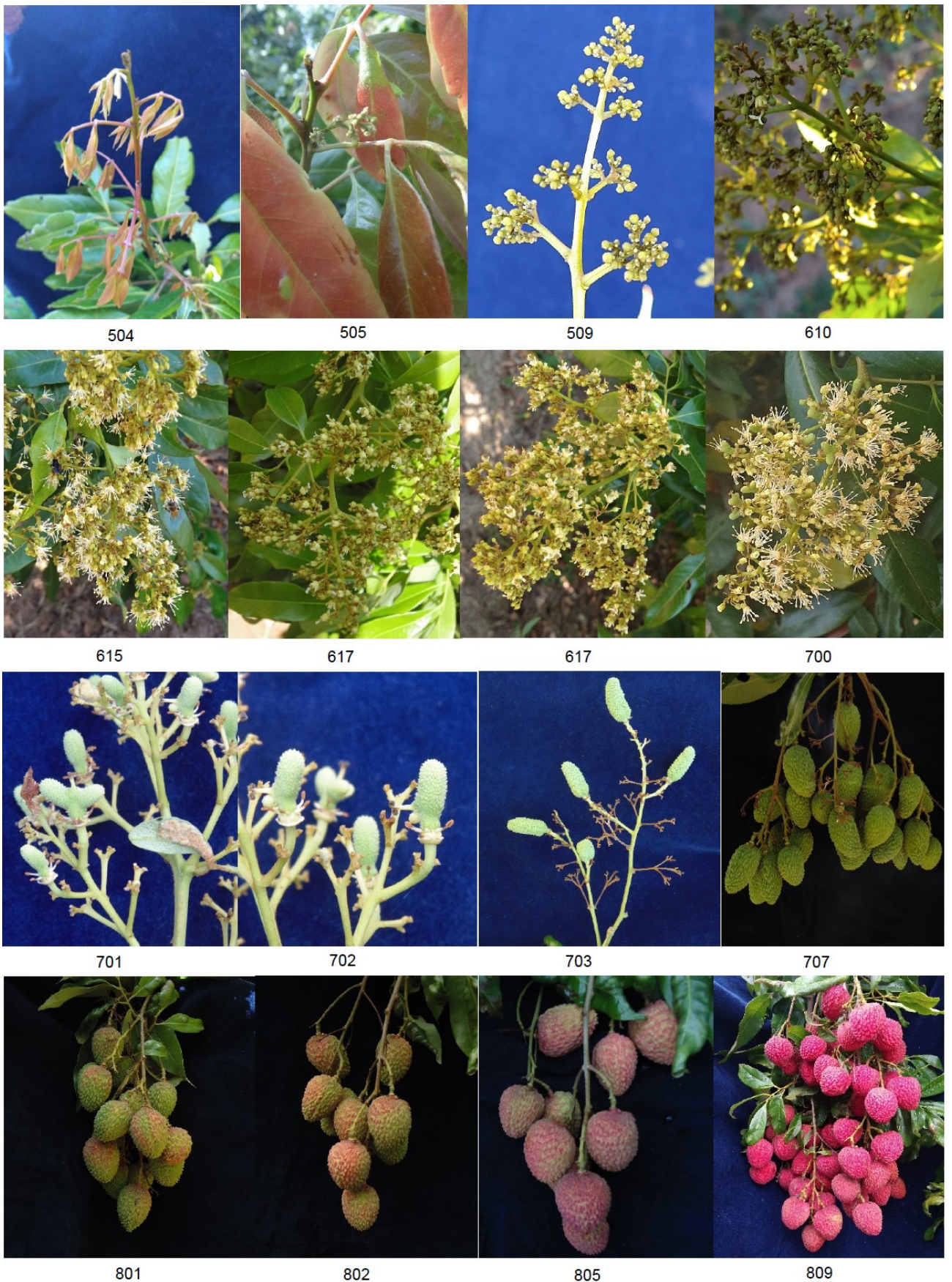
Em relação aos frutos, o maior índice de abscisão dos frutos foi observado após o estágio de frutos conjugados e início do crescimento de apenas um dos lados (Tabela 2).

Durante a fase de fixação até o amadurecimento, pode ocorrer abscisão de frutos, porém o pico de queda ocorre ao longo do desenvolvimento inicial dos frutos, (Reavathy; Narasimham, 1997; Salomão et al., 2006). Esse tipo de comportamento pode variar de acordo com a cultivar, também pode ter forte influência das condições climáticas. No decorrer do período de floração, a planta utiliza as reservas de carboidratos armazenadas (Yuan et al., 2009). A maior queda de frutos pode estar relacionada a este fato, pois se ocorrer consumo excessivo de reservas de carboidratos pela planta durante a floração, pode ser insuficiente para um bom pegamento de frutos (Jiang et al., 2012).

O período entre a antese e a colheita dos frutos foi de 99 dias em 2019, porém em 2021 este período foi de 119 dias (Tabela 2). Em 2021 iniciaram em junho a emergência das panículas, diferente de 2019 que foi em agosto.

Na lichieira o período entre a floração e a colheita de frutas, pode variar de 110-150 dias, com variações entre cultivares e clima (Tindall,1994).

Figura 3 – Principais estádios da fenologia reprodutiva de lichieira ‘Bengal’



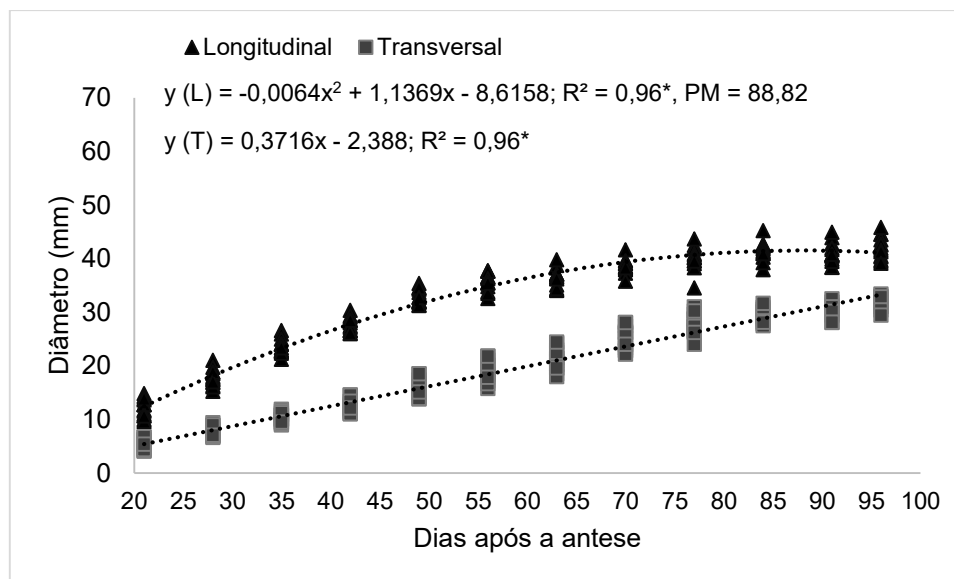
1.3.2 Crescimento dos frutos

O período de avaliação dos diâmetros dos frutos para acompanhamento do crescimento e iniciou no estágio 702 e foram encerradas em 809, com frutos tem em média de 42,05 mm de diâmetro longitudinal e 31,86 mm de diâmetro transversal.

Wang et al. (2017), citam que o desenvolvimento dos frutos é dividido em dois estádios principais, o estágio I, que constituiu cerca de dois terços de todo o período de crescimento dos frutos 0-53 dias depois da antese e envolve o crescimento da casca e do revestimento de sementes. No estágio II são 53-88 dias após a antese e envolve principalmente o crescimento do embrião e do arilo.

A partir dos 70 dias após a antese, houve pouco aumento do diâmetro longitudinal de lichia 'Bengal', já o diâmetro transversal o crescimento foi de forma linear até o período de colheita.

Figura 4 – Diâmetro longitudinal e transversal no desenvolvimento do fruto de lichieira 'Bengal' na safra 2019



*Início avaliações, 21 dias após a antese.

1.4 CONCLUSÕES

A fase reprodutiva da lichieira 'Bengal', do estágio 5 (floração) até o estágio 8 (maturação dos frutos) varia entre 99 e 119 dias.

Aos 70 dias após a antese, os frutos estabilizaram o crescimento longitudinal com 88,82 mm.

REFERÊNCIAS

- ANJUM, J.; LONE, R.; WANI, K. A. Lychee (*Litchi chinensis*): Biochemistry, Panacea, and Nutritional Value. *In*: KUMAR, M., KUMAR, V., Bhalla-Sarin, N., Varma, A. (eds) **Lychee Disease Management**. Singapore: Springer. 2017, p. 237-256.
- BHERING, L. L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.] v. 17, p. 187-190, 2017.
- CHEN, P. A.; ROAN, S. F.; LEE, C. I.; CHEN, I. Z. The effects of temperature during inflorescence development to flowering and inflorescence length on yield of “Yu Her Pau” Litchi. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 159, p.186-189, 2013.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DEGANI, C.; STERN, R.A.; EL-BATSRI, R.; GAZIT, S. Pollen parent effect on the selective abscission of ‘Mauritius’ and ‘Floridian’ lychee fruitlets. **The Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s. l.], v. 120, p. 523-526, 1995.
- HACK, H.; BLEIHOLDER, H.; BUHR, L.; MEIER, U.; SCHNOCK-FRICKE, U.; WEBER, E.; WITZENBERGER, A. Einheitliche Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien monound dikotyler Pflanzen-Erweiterte BBCH-Skala. Allgemein. **Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes**, Stuttgart, v. 44, p. 265-270, 1992.
- HANKE M V, FLACHOWSKY H, PEIL A AND HATTASCH C. 2007. No flower no fruit-genetic potential to trigger flowering in fruit trees. **Genes, Genomes and Genomics**, [s. l.], v. 1, p. 1-20, 2007.
- IBGE. **CensoAgro 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76324>. Acesso em 27. Fevereiro. 2023.
- JIANG, S. Y.; XU, H. Y.; WANG, H. C.; HU, G. B.; LI, J. G.; CHEN, H. B.; HUANG, X. M. A comparison of the costs of flowering in ‘Feizixiao’ and ‘Baitangying’ litchi. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 148, p. 118-125, 2012.
- KARUNA, K.; ADARSH, A.; SINGH, H. K.; MANKAR, A. Edible coating on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) for improvement of fruit quality and shelf life: a review. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.1211, p. 145-152, 2018.
- KOUL, B.; SINGH, J. Lychee biology and biotechnology. *In*: KUMAR, M.; KUMAR, V.; PRASAD, R.; VARMA, A. (eds). **The Lychee Biotechnology**. Springer, 2017, p. 137-192.
- LEDERMAN, I. E.; SILVA JUNIOR, J.F.; SACRAMENTO, C.K.; CARVALHO, J.E.U.; YAMANISHI, O.K. Frutas exóticas potenciais. *In*: ALBUQUERQUE, A. C. S.; A.G. DA SILVA, A. G. (Org.). **Agricultura Tropical – Quatro décadas de inovações**

tecnológicas, institucionais e políticas. 1ª. Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, 2008, p. 437-460.

LORA, J.; PHAM, V. T.; HORMAZA, J. I. Genetics and Breeding of Fruit Crops in the Sapindaceae Family: Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and Longan (*Dimocarpus longan* Lour.). *In: AL-KHAYRI, J. M. et al. (eds.), Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits*, 2018, p. 953-973.

MALHOTRA, S.; & SINGH, KUMAR, S. S.; VISHAL, N. Physiology of flowering in litchi (*Litchi chinensis*): A review. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, New Delhi, v. 88, p. 1319-1330, 2018.

MANICA, I. **Frutas nativas, silvestres e exóticas: técnicas de produção e mercado. Feijoa, figo-da-índia, fruta-pão, jaca, lichia, mangaba.** Porto Alegre: Cinco Continentes, 2002. v. 2, p. 367-458.

MENZEL, C. M.; AITKEN, R. L.; DOWLING, A. W.; SIMPSON, D. R. Root distribution of lychee trees growing in acid soils of subtropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 699-705, 1990.

MENZEL, C. Major pests and diseases. *In: MENZEL, C. (ed.), The lychee crop in Asia and the Pacific.* FAO, 2002, p. 74-83.

MENZEL, C. M.; PAXTON, B.F. The effect of temperature on growth and dry matter production of lychee seedlings. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 26, n. 1, p. 17-23, 1985.

NAKASONE, H. K; PAULL, R. E. Litchi, logan and rambutan. *In: NAKASONE, H. K; PAULL, R. E. Tropical Fruits.* CAB International, Wallingford, 1998, p. 173-206.

Pham, V. T.; Herrero, M.; Hormaza, J. I. Phenological growth stages of longan (*Dimocarpus longan*) according to the BBCH scale. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 189, p. 201–207, 2015.

PAREEK, S. Nutritional and Biochemical Composition of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Cultivars. **Nutritional Composition of Fruit Cultivars**, [s. l.], p. 395-418, 2016.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo:** Boletim Técnico, 100. 2.ed. Campinas: Fundação IAC, 1997. p. 285 p.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L. The phenology of the capuli cherry [*Prunus serotina* subsp. *capuli* (Cav.) McVaugh] characterized by the BBCH scale, landmark stages and implications for urban forestry in Bogotá, Colombia. **Urban Forestry & Urban Greening**, [s. l.], v. 19, p. 202-211, 2016.

REVATHY, J.; NARASIMHAM, P. Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) fruit: influence of pre- and post-harvest factors on storage life and quality for export trade – a critical

appraisal. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 34, n. 1, p.1-19, 1997.

SALOMÃO, L. C. C.; SIQUEIRA, D. L.; PEREIRA, M. E. C. Desenvolvimento do fruto da lichieira (*Litchi chinensis* Sonn.) 'Bengal'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 1, p. 11-13, 2006.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; DE OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 5 ed.; Embrapa: Brasília, Brasil, 2018, p. 1-355.

SAÚCO, V. G.; MENINI, U. G. **El litchi y su cultivo**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), v. 83, 1987, p. 11-60.

SINGH, A.; PANDEY, S. D.; NATH, V. **The World Litchi Cultivars**. Technical Bulletin 007 NRC for Litchi, Mushahari, Muzaffarpur, 2012, p. 1-65.

SOLO, N. R.; RAMANANKIERANA, H. P.; MIASA, E.; DONNO, D.; BAOHANTA, R. H.; RAKOTONIAINA, E. N.; SOIFOINI, T.; GIACOMA, C.; BECCARO, G. L. (2019). Effects of seasonal climatic variations on physiology and phenology of *Litchi chinensis* Sonn. in Madagascar. **Fruits**, Paris, v. 74. 97-109, 2019.

TINDALL, H. D. Sapindaceae fruits: botany and horticultural. *In*: ANERSON, J. L.; CANTLIFFE, D. J.; WOODSON, W. R. **Horticultural Reviews**. v.16, 1994, p. 143-196.

WANG, H. C.; LAI, B.; HUANG, X. M. **Litchi Fruit Set, Development, and Maturation**. *In*: KUMAR, M.; KUMAR, V.; PRASAD, R.; VARMA, A. *The Lychee Biotechnology*. Springer, 2017, p. 1-30.

WEI, Y. Z.; ZHANG, H. N.; LI, W. C.; XIE, J. H.; WANG, Y. C.; LIU, L. Q.; SHI, S. Y. Phenological growth stages of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) using the extended BBCH-scale. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 161, p. 273-277, 2013.

WILKIE, J. D.; SEDGLEY, M.; OLESEN, T. Regulation of floral initiation in horticultural trees. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, p. 3215-28, 2008.

YUAN, W. Q.; HUANG, X. M.; WANG, H. C.; LI, J. G.; CHEN, H. B.; YIN, J. H. The correlation of carbon nutrient reserves dynamics and fruit set of 'Nuomici' litchi. **Acta Horti Sin**, v. 36, p. 1568-1574, 2009.

CAPÍTULO 2

MATURAÇÃO E COMPOSTOS BIOATIVOS DE LICHIA 'BENGAL' CULTIVADA EM CLIMA MESOTÉRMICO NO BRASIL

RESUMO

A avaliação da qualidade dos frutos ao longo de seu desenvolvimento é uma ótima ferramenta para auxiliar na determinação da época ideal de colheita e no planejamento da produção. Na cultura da lichieira (*Litchi chinensis* Sonn.) ainda são necessários estudos para determinação do estágio ideal de colheita, levando em consideração descritores fisiológicos dos frutos. Objetivou-se com este estudo realizar a caracterização físico-química e compostos bioativos de lichia 'Bengal' em diferentes estádios de maturação para determinação do estágio ideal de colheita. O experimento foi realizado em duas safras (2019 e 2021) com a cultivar Bengal, com plantas de 11 anos de idade, cultivadas em condições de sequeiro, na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA- UNESP), São Manuel, São Paulo, Brasil. Foram marcados ramos em 10 plantas e as avaliações iniciaram quando foram visualizados os primeiros indícios de mudança de coloração. Foram realizadas análises físicas e químicas dos frutos durante a evolução dos estádios de maturação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por cinco épocas/semanas na safra 2019 e seis na safra 2021, com oito repetições e cinco frutos cada. O crescimento dos frutos foi linear nas duas safras. O rendimento de polpa dos frutos na safra 2021 foi de 62,45%, maior que na safra 2019. O pH aumentou a medida que os frutos amadureceram, com diferença significativa entre as semanas nas duas safras, porém os sólidos solúveis tiveram diferenças entre as semanas avaliadas somente na safra 2019, ocorrendo decréscimo ao longo do amadurecimento. Na avaliação da concentração de ácido ascórbico na polpa de lichia 'Bengal' na safra de 2019, a maior concentração foi de 29,22 mg 100 g⁻¹, porém em 2021, foi de 34,66 mg 100 g⁻¹. Nas condições climáticas de condução do experimento, o estágio ideal de colheita dos frutos de lichieira 'Bengal', pode variar de 95 até 113 dias após a antese.

Palavras-chave: *Litchi chinensis* Sonn.; ponto de colheita; açúcares; ácido ascórbico, dias após a antese.

ABSTRACT

The evaluation of fruit quality throughout its development is an excellent tool to help determine the ideal time of harvest and production planning. In the culture of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) studies are still needed to determine the ideal stage of harvest, taking into account physiological descriptors of the fruit. The objective of this study was to perform the physical-chemical characterization and bioactive compounds of lychee 'Bengal', at different stages of maturity, to determine the ideal stage of harvest. The experiment was conducted in two harvests (2019 and 2021) with the cultivar Bengal, with 11-year-old plants, cultivated under dryland conditions, at the Experimental Farm São Manuel of the School of Agriculture (FCA- UNESP), São Manuel, São Paulo, Brazil. Branches were marked on 10 plants and evaluations started when the first signs of color change were visualized. Physical and chemical analyses of the fruits were performed during the evolution of the maturation stages. The experimental design was entirely randomized, composed of five seasons/weeks in the 2019 harvest and six in the 2021 harvest, with eight replicates and five fruits each. Fruit growth was linear in both crops. Fruit flesh yield in the 2021 crop was 62.45%, higher than in the 2019 crop. The pH increased as the fruit ripened, with a significant difference between the weeks in the two harvests, but soluble solids had differences between the weeks evaluated only in the 2019 harvest, occurring a decrease throughout ripening. In the evaluation of ascorbic acid concentration in lychee 'Bengal' pulp in the 2019 harvest, the highest concentration was 29.22 mg 100 g⁻¹, but in 2021, it was 34.66 mg 100 g⁻¹. There were climatic differences between the two evaluated harvests. Under the climatic conditions in which the experiment was conducted, the ideal stage of harvest of 'Bengal' lychee fruits can vary from 95 to 113 days after anthesis.

Key words: *Litchi chinensis* Sonn.; harvest point; sugars; ascorbic acid, days after anthesis.

2.1 INTRODUÇÃO

A lichia (*Litchi chinensis* Sonn.) é uma fruta que vem ganhando popularidade entre os consumidores no mundo todo, principalmente devido a sua aparência, aroma e sabor (Karuna et al., 2018; Koul; Singh, 2017). Os frutos das cultivares diferem

quanto ao formato (cordiforme, elíptico e arredondado), coloração e rugosidade da casca. O fruto é classificado como drupa, com arilo comestível (polpa) de coloração branca, semi-translúcida (Singh; Pandey; Nath, 2012).

No Brasil a principal cultivar de lichieira é a 'Bengal' (Lederman et al., 2008). Esta cultivar é vigorosa e têm alternância de produção, com variações significativas entre as safras (Menzel, 2002).

Com importante valor nutricional, rica em propriedades funcionais, proteínas, açúcares e minerais (cálcio, potássio, ferro e zinco), vitamina C, tiamina, riboflavina e niacina, a lichia também tem vitamina B6 e E, folato, triptofano, lisina e metionina (Anjum et al., 2017; Pareek, 2016).

No arilo do fruto os principais constituintes são o inositol, derivados de inositol metil e ácido gama-aminobutírico (GABA), que são compostos que raramente são encontrados em polpa de frutas (Wu et al., 2016). Em países do continente asiático, a lichia é utilizada há mais de 1000 anos na medicina alternativa (Wang; Lai; Huang, 2017).

Dependendo da cultivar, a lichia pode ter rendimento de polpa de aproximadamente 60%, com sementes que podem ter de 1,0 a 3,3 cm de comprimento e 0,6 a 1,2 cm de largura (Punia; Kumar, 2021). As cultivares de lichieira podem ser divididas em função da coloração da epiderme em três principais tipos: as não vermelhas, que não acumulam antocianinas ou concentram quantidades extremamente baixas, as vermelhas rajadas, que acumulam algumas antocianinas enquanto mantém níveis altos de clorofilas e as vermelhas uniformes, que acumulam quantidades significativas de antocianinas e baixos níveis de clorofilas, nestas a coloração pode variar de rosa a vermelho escuro (Wang; Lai; Huang, 2017).

No Brasil a lichieira é cultivada em aproximadamente 1781 hectares com lichieira, com área produtiva concentrada nas regiões Sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e Sul (Paraná), sendo o estado de São Paulo responsável por 58,22% da área total cultivada e 54,67% da produção, segundo dados do CensoAgro 2017 (IBGE, 2023).

A lichia é classificada um fruto não climatérico (Akamine; GOO, 1973), neste caso a colheita deste tipo de fruto não é indicada ser realizada antes da maturidade fisiológica (Wilberth et al., 2013). Um dos problemas da cultura é o estágio de maturação ideal para o mercado, pois além de ser centralizado em um curto período

no mês de dezembro. Os frutos apresentam limitada vida de prateleira, quando armazenados em temperatura ambiente (Tran et al., 2019).

A avaliação da qualidade dos frutos ao longo de seu desenvolvimento e maturação é uma ótima ferramenta para auxiliar na determinação da época ideal de colheita e no planejamento da produção e também, permite ao produtor a redução de perdas e ganho de qualidade (Magalhães et al., 2019). Na cultura da lichieira ainda são necessários estudos para determinação do estágio ideal de colheita, levando em consideração descritores fisiológicos dos frutos. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar a caracterização físico-química e de compostos bioativos de lichia 'Bengal', em diferentes estádios de maturação, para determinação do estágio ideal para colheita.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Localização da área experimental e material vegetal

A condução do experimento foi em dois anos, 2019 e 2021, com a cultivar Bengal, com plantas de 11 anos de idade (2019), cultivadas em condições de sequeiro, num espaçamento de 5 m entre plantas e 6 m entre linhas (Figura 1). O pomar está situado a 22°46' S 48°34' O, com 740 m de altitude, na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), localizada no município de São Manuel, São Paulo, Brasil.

Figura 1 – Plantas adultas de lichieira ‘Bengal’ utilizadas no experimento. São Manuel-SP



Foram marcados ramos em 10 plantas, com frutos em mesmo padrão de coloração da casca. As avaliações iniciaram quando foram visualizados os primeiros indícios de mudança de coloração, subestádio 801 (Figura 2).

As análises foram realizadas no Laboratório de Fruticultura, Departamento de Produção Vegetal (FCA-UNESP) e no Laboratório do Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT-UNESP).

Figura 2 – Coloração da casca de lichia ‘Bengal’ ao longo das semanas de avaliação



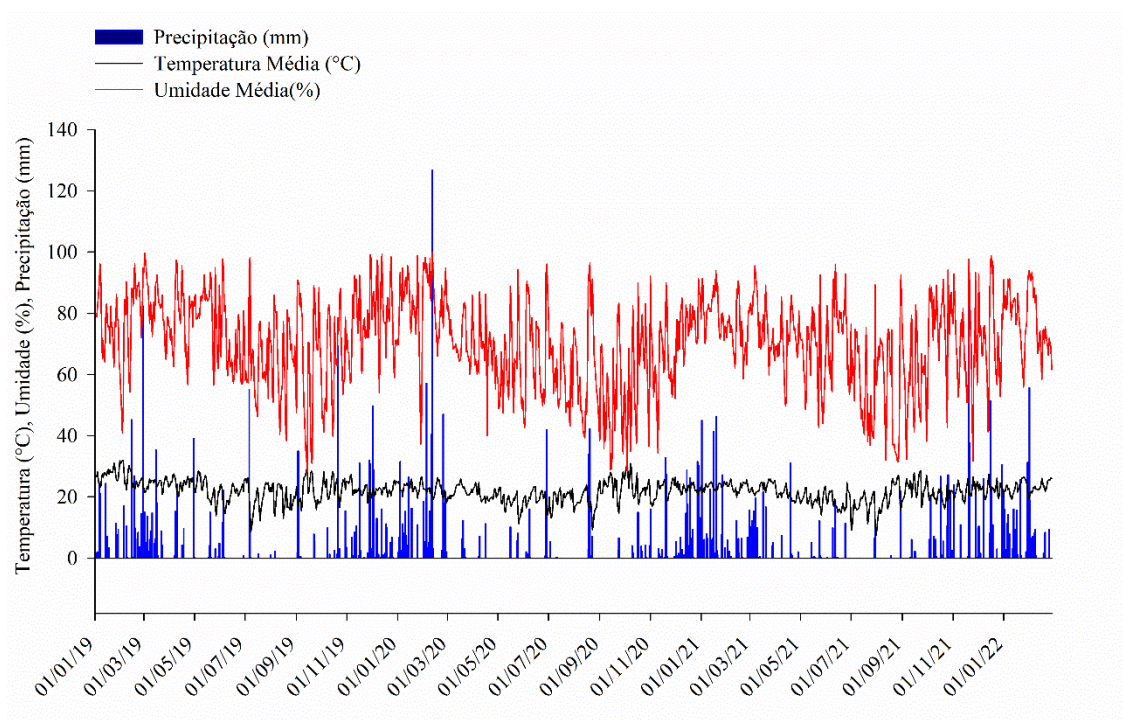
2.2.2 Solo, clima e tratos culturais

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura arenosa (Santos et al., 2018).

O clima na região de condução do experimento, segundo a classificação de Koppen, é o temperado quente (tipo Cfa), mesotérmico com temperatura média do mês mais quente, superior a 22°C, invernos secos e concentração de chuvas no verão (Cunha; Martins, 2009).

Durante todo período de condução do experimento foram realizadas coletas diárias dos dados (Figura 3).

Figura 3 – Dados climáticos do pomar de licheira ‘Bengal’, no período de realização do experimento. São Manuel-SP, Brasil



O balanço hídrico (Figura 4) foi determinado adotando-se a capacidade de água disponível (CAD) de 90 mm e a profundidade média do sistema radicular da licheira de 1 m (Menzel et al., 1990).

A mensuração da compressão foi realizada com a sonda de compressão SMS P/75 (Stable Micro Systems) com velocidade de $1,0 \text{ mm s}^{-1}$, com distância de 5 mm, os resultados foram expressos em Newtons (N).

A resistência a perfuração foi realizada na região equatorial do fruto, nos dois lados, foi utilizada uma sonda agulha SMS P/2N (2 mm de diâmetro), a distância de perfuração foi de 3 mm.

Coloração da epiderme

Na avaliação da coloração foram utilizados os parâmetros de cor (L, a^* e b^*) foram medidos usando um colorímetro (Minolta®, modelo CR400), na região equatorial do fruto, realizando-se uma leitura em cada lado. A coordenada de luminosidade (L) mediu o valor de brilho, variando de 0 (preto) a 100 (branco). A coordenada a^* refere-se ao vermelho quando positivo e verde quando negativo, e a coordenada b^* refere-se ao amarelo quando positivo e azul quando negativo.

Com os valores obtidos foi determinado o croma (C^*) pela equação:

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (2)$$

Também foi possível determinar o ângulo Hue ($^{\circ}h$), que indica a tonalidade cromática, em que 0° refere-se a coloração vermelha, 90° à coloração amarela, 180° à coloração verde e 270° à coloração azul. Obtido pela equação:

$$^{\circ}h = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (3)$$

Potencial hidrogeniônico, sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico

A polpa dos frutos foi triturada com o auxílio de um mixer (Britânia, BMX550PI 500W). O potencial hidrogeniônico (pH) foi mensurado pelo método eletrométrico em pHmetro digital (QUIMIS®), previamente calibrado, para o qual pesaram-se 10 g de polpa e diluída em 100 mL de água destilada. Após agitação com auxílio de agitador magnético, foi realizada a leitura (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

Os sólidos solúveis foram determinados em refratômetro digital (Pocket PAL1, ATAGO®), adicionando-se no leitor aproximadamente 0,5 mL de suco da polpa da lichia, os resultados foram expressos em $^{\circ}$ Brix (Instituto Adolfo Lutz, 2008).

A acidez titulável foi determinada por titulometria, utilizando-se 1 g de polpa do fruto, 100 mL de água destilada e 3 gotas de fenolftaleína. As amostras foram tituladas

com hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 N e os resultados expressos em porcentagem (%) de ácido málico (AOAC, 1990).

Com os resultados de sólidos solúveis e acidez titulável, foi mensurado o índice de maturação (IM), obtido por meio da equação:

$$IM = \frac{\text{Sólidos solúveis}}{\text{Acidez titulável}} * 100 \quad (4)$$

O ácido ascórbico foi determinado por titulometria com 2,6-diclorofenolindofenol-sódio (2,6 DCFI). Foi pesado 1 g de polpa e misturado a 50 mL de ácido oxálico (1%), posteriormente foi realizada a titulação com 2,6 DCFI até cor rosa, persistente por 15 segundos. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g da polpa (AOAC, 1990).

Açúcares redutores, açúcar não redutor e açúcares totais

Na análise de açúcares totais foi pesado 1 g de amostra em erlenmeyer e adicionados aproximadamente 50 mL de água destilada e 6 mL de HCl 0,1 N e colocado em banho-maria (Nova Instrumentos®) durante 10 minutos. Após, a amostra ser resfriada até temperatura ambiente e neutralizada com 1,5 mL de carbonato de sódio (300 g L⁻¹), posteriormente completado em balão volumétrico até atingir 100 mL com água destilada, foi homogeneizada e posteriormente filtrando com auxílio de papel filtro simples. Pipetou-se 4 mL da amostra em balão volumétrico de 100 mL e completado o volume com água destilada, desta solução foi retirado 1 mL e pipetado em tubo de vidro e acrescentou-se 1 mL do reativo de Somogy. As amostras foram novamente levadas ao banho-maria durante 10 minutos e após serem retiradas e resfriadas a temperatura ambiente, foi acrescentando 1 mL do reativo de Nelson e 7 mL de água destilada, homogeneizando-se em agitador de tubos tipo vortex (AP-56, Phoenix®) (Nelson, 1944; Somogy, 1937).

A leitura da absorbância das amostras foi em espectrofotômetro (Spectro SO5, Bel®) no comprimento de onda de 535 nm. Os resultados foram expressos em % de acordo com a equação a seguir:

$$AT(\%) = \frac{A * K * 100}{\mu g} \quad (5)$$

Onde:

AT= Açúcares Totais;

A = absorvância 535 nm;

K = Constante curva padrão de glicose;

μg = Diluição da amostra μg .

Na análise de açúcares redutores, foi pesado 1 g de polpa de lichia e transferido para um balão volumétrico e acrescentado 100 mL de água destilada. Foram realizados testes com as amostras para definição do volume a ser retirado de cada uma das amostras. Após ser homogeneizado e filtrado foi retirado 7 mL (1^a, 2^a e 3^a semanas) e 5 mL (4^a, 5^a e 6^a semanas) de amostra e pipetado em balão volumétrico de 100 mL, onde foi completado o volume novamente. Desta amostra retirou-se 1 mL e transferido para o tubo de ensaio, juntamente com 1 mL da solução de Somogy e levados para banho-maria durante 10 minutos. Após a solução ser esfriada até atingir a temperatura ambiente, foi acrescentado 1 mL do reativo de Nelson e 7 mL de água destilada homogeneizando-se em agitador de tubos tipo vortex e a leitura foi em leitura da absorvância das amostras foi em espectrofotômetro no comprimento de ondas a 535 nm e os resultados expressos em % (Nelson, 1944; Somogy, 1937).

$$AR(\%) = \frac{A \cdot K \cdot 100}{\mu\text{g}} \quad (6)$$

Onde:

AR= Açúcar redutor (glicose e frutose);

A = absorvância 535 nm;

K = Constante curva padrão de glicose;

μg = Diluição da amostra em μg .

O açúcar não redutor foi determinado seguindo a equação:

$$ANR (\%) = (AT - AR) \cdot 0,95 \quad (7)$$

Onde:

ANR= Açúcares Não Redutores (sacarose);

AT= Açúcares Totais;

AR = Açúcares Redutores;

Fator de correção = 0,95.

Compostos fenólicos totais, flavonoides totais, FRAP e DPPH

Os compostos fenólicos totais da polpa (arilo) e da casca foram determinados empregando-se o método espectrofotométrico usando o reagente folin-ciocalteau (Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventós, 1999; Reyes et al., 2016).

Após maceração em nitrogênio líquido, pesaram-se 50 mg de polpa e 25 mg de casca (diluído a 1:5 com água deionizada), foi adicionado 5 mL do extrator (80% metanol + 19% água destilada + 1% ácido acético, foi realizado testes para definição do extrator). As amostras foram levadas ao banho ultrassônico por 20 minutos e posteriormente centrifugadas por 10 minutos a 5000 rpm. Uma amostra de 0,5 mL do sobrenadante foi retirada e colocada em tubo de ensaio juntamente com 0,5 mL de água destilada, 0,5 mL de folin-ciocalteau e 2,5 mL de Na₂CO₃ (20%). Após agitar as amostras, foram armazenadas durante 30 minutos de reação em temperatura ambiente no escuro. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro utilizando-se o comprimento de ondas de 725 nm, a quantificação foi feita com base na curva padrão do ácido gálico. Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico por 100 g de amostra fresca (mg 100 g⁻¹).

Na quantificação dos teores de flavonoides totais, as amostras foram maceradas em nitrogênio líquido, posteriormente foram pesados 150 mg de polpa e 50 mg de casca, foram colocadas em tubos de plástico, posteriormente centrifugadas (velocidade de 5000 rpm e 4° C de temperatura) e adicionado metanol acidificado. Realizou-se a homogeneização e transferência para banho ultrassônico durante 30 minutos. Foi adicionado cloreto de alumínio (5%) e após homogeneizar as amostras, foram deixadas em repouso durante 30 minutos em ambiente escuro. As leituras de absorbância em espectrofotômetro foram no comprimento de ondas de 425 nm e os resultados foram expressos em equivalentes de rutina em 100 g de amostra (mg 100 g⁻¹) (Awad; Jager; Westing, 2000; Santos et al., 1998).

A capacidade antioxidante foi mensurada pelos métodos redução do radical, 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH) e Ferric Reducing Andioxidant Power (FRAP).

No método de redução do radical DPPH, foram pesados 50 mg de polpa e 25 mg de casca (diluído a 1:5 com água deionizada), foi adicionado metanol P.A., agitada em agitador vortex e colocadas durante 15 minutos em banho ultrassônico e posteriormente colocadas na centrifuga durante 10 minutos (Brand-Williams; Cuvelier; Berset, 1995). Foram pipetados 500 µL do sobrenadante da amostra em tubo de ensaio juntamente com 3 mL de etanol P.A. e 300 µL de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e colocadas no escuro durante até a reação total. As leituras de

absorbância em espectrofotômetro foram no comprimento de ondas de 517 nm. Os resultados de DPPH foram expressos em mg TEAC em 100 g⁻¹ de amostra.

Na análise de FRAP, foram pesados 50 mg de polpa e 25 mg de casca (diluído a 1:5 com água deionizada) anteriormente maceradas em nitrogênio líquido. Foi adicionado o extrator (metanol (80%) + água destilada (19%) + ácido acético (1%)) e levado ao banho ultrassônico por 10 minutos e posteriormente colocadas na centrifuga durante 10 minutos. Após este processo foram pipetados em tubos de ensaio 90 µL de água destilada, 30 µL de amostra e por fim 900 µL de reagente FRAP.

As leituras de absorbância em espectrofotômetro foram no comprimento de ondas de 594 nm, os resultados foram expressos em µM/g.

2.2.4 Delineamento experimental e análise dos dados

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, na safra 2019 foram cinco épocas/semanas de coleta de frutos e na safra 2021 foram seis épocas referentes ao início da mudança de cor no fruto até coloração total. Foram utilizadas oito repetições de cinco frutos.

Foi realizada inicialmente a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade (homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância, com níveis de significância de 5% de probabilidade de erro, pelo programa estatístico Rbio (Bhering, 2017). As médias dos períodos de avaliação foram submetidas à avaliação polinomial, e os modelos foram selecionados de acordo com a significância do teste F e do coeficiente de determinação.

A análise da correlação de Pearson ($p < 0.05$) foi realizada utilizando o Software R (R Development Core Team). Para a elaboração do heatmap, utilizaram-se os pacotes “corrplot”, “latticeExtra” e “RColorBrewer”. Devido ao grande número de variáveis, utilizou-se a opção de “círculos” para apresentar os valores da correlação, apenas correlações significativas foram demonstradas nas figuras, e os valores de R² e p. Análise de componentes principais também foi realizada no software R, em que utilizaram os pacotes “PCAtools”, “chemometrics” e “stats” e para a construção das figuras o pacote “ellipse”.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

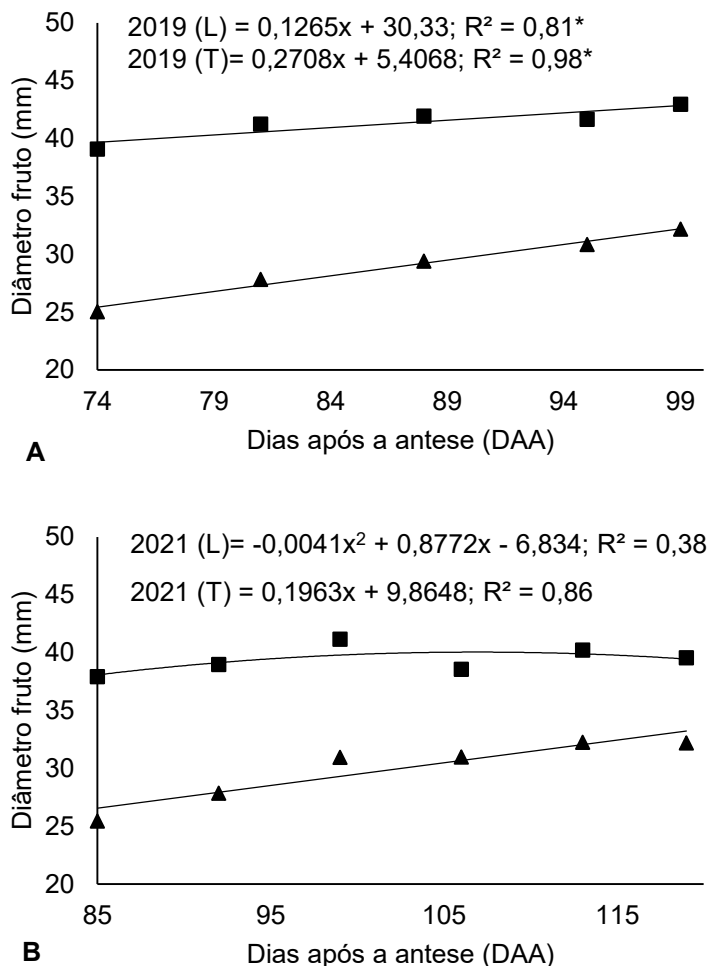
O início das avaliações dos frutos na safra 2019 foi com 74 dias após a antese, momento em que o fruto começou a ficar vermelho. Na safra 2019 a florada das lichieiras foi mais tardia, com abertura das flores na segunda semana de setembro, período com temperaturas e chuvas (médias) já adequadas para o desenvolvimento dos frutos. Do estágio de antese até fruto com 100% de coloração na casca foram 99 dias.

No ano de 2021, a florada foi precoce, com início de abertura das primeiras flores na primeira semana de agosto. Da antese até frutos com 100% de coloração na casca foram 119 dias.

Diâmetro dos frutos, massa e rendimento de polpa

O diâmetro longitudinal e transversal dos frutos na safra de 2019 aumentou de forma linear até os 99 dias após a antese, com 42,92 mm e 32,19 mm respectivamente (Figura 5A). Os frutos da safra 2021, tiveram crescimento linear no diâmetro transversal, no longitudinal o aumento foi até 113 dias após a antese (DAA), com 40,24 mm, após este período estabilizou (Figura 5B). Também foi observado que os frutos apresentaram diferenças de tamanho entre as safras avaliadas.

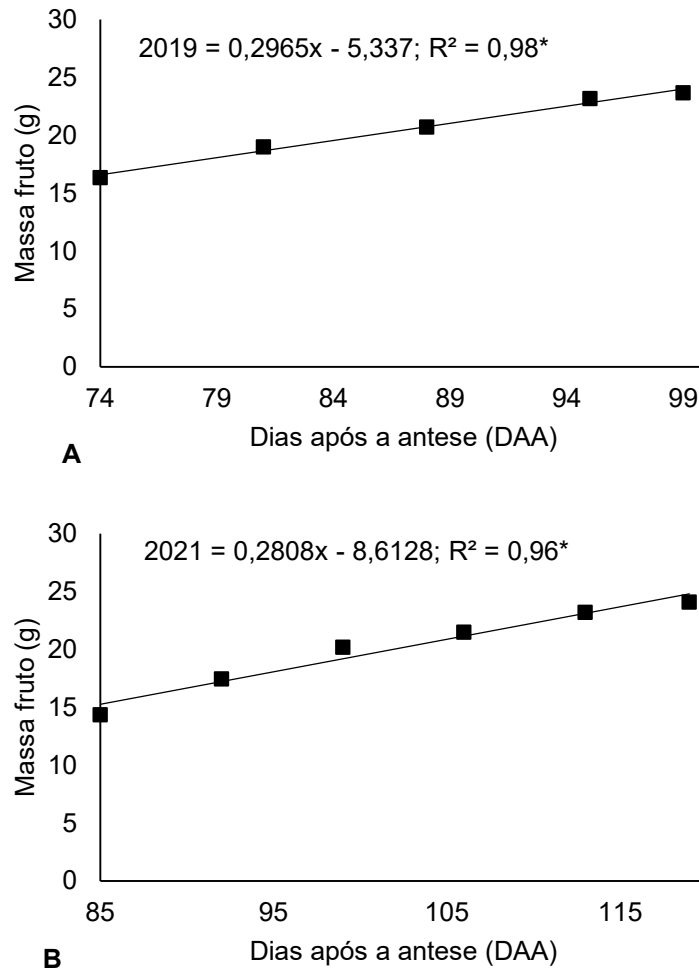
Figura 5 – Diâmetro longitudinal e transversal do frutos safra 2019 (A) Diâmetro longitudinal (L) e transversal (T) do frutos safra 2021



A massa do fruto teve aumentos significativos, ao longo do desenvolvimento, houve crescimento linear nas duas safras avaliadas (Figura 6A e B). Na safra 2019 em 99 DAA a massa foi em média 23,7 g, resultado parecido com os frutos da safra 2021, com 24,0 g em média após 119 DAA.

O ganho de massa é devido ao crescimento e desenvolvimento dos frutos, durante a maturação ocorre o aumento do teor de água, acúmulo de açúcares e maturação das sementes (Chitarra; Chitarra, 2005).

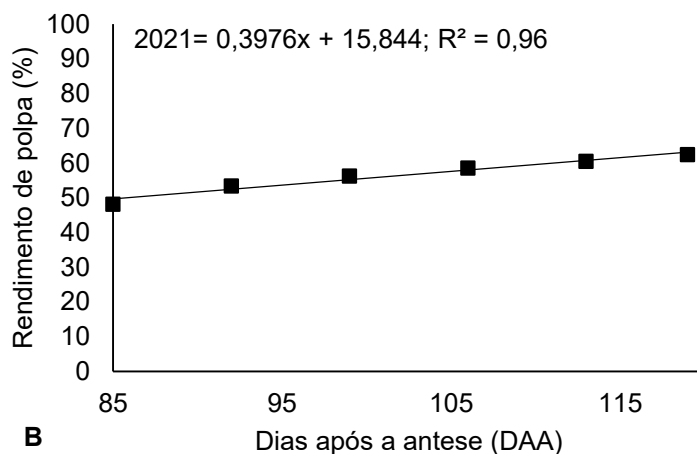
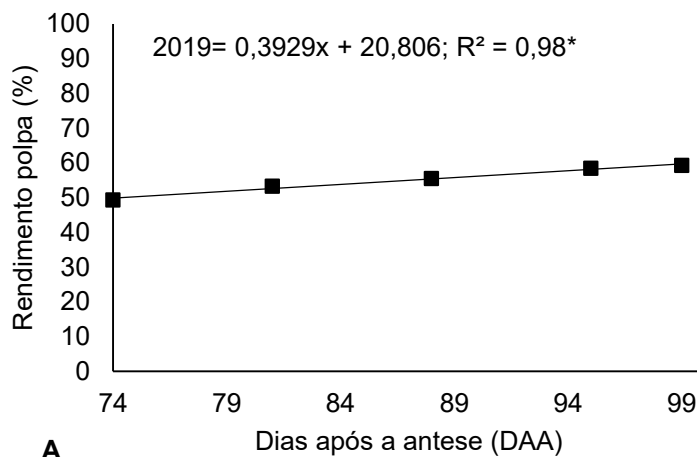
Figura 6 – Massa do fruto safra 2019 (A) e massa do fruto safra 2021 (B) de lichia ‘Bengal’



O período de principal aumento no crescimento dos frutos é entre 2 a 8 semanas após a antese, com 10 semanas o desenvolvimento diminui (Trong et al., 2021). Em lichia ‘Bengal’ o desenvolvimento dos frutos em comprimento ocorreu de forma acelerada em torno de 77 dias após a antese (Salomão et al., 2006).

Na variável rendimento de polpa, em ambas as safras avaliadas ocorreu crescimento linear ao longo da maturação, porém na safra 2021 o rendimento de polpa foi maior, 62,45% na última semana de avaliação (Figura 7B), contra 59,24% na safra de 2019 (Figura 7A). A maior porcentagem de rendimento de polpa na safra 2021 ocorreu por os frutos apresentarem sementes menores que os frutos da safra 2019. A lichia pode ter rendimento de polpa de aproximadamente 60%, com sementes que podem ter de 1 a 3,3 cm de comprimento e 0,6 a 1,2 cm de largura (Punia; Kumar, 2021), isso pode variar.

Figura 7 – Rendimento de polpa safra 2019 (A) e rendimento de polpa safra 2021 (B) de lichia ‘Bengal’



Firmeza

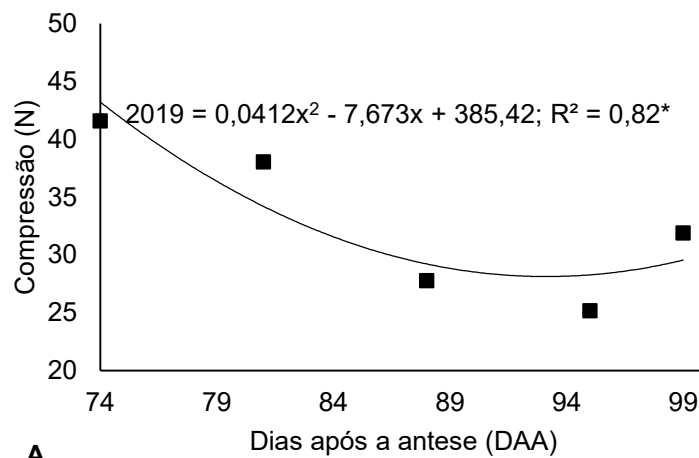
A firmeza dos frutos diminuiu significativamente a partir das primeiras semanas de avaliação. Na compressão máxima sustentada pelo fruto, houve decréscimo até 95 dias após a antese na safra 2019, com 28,94 N (Figura 8A) e 106 dias após a antese em 2021 (Figura 8B).

Na variável força de perfuração da casca, o mesmo comportamento foi observado nas duas safras avaliadas, com decréscimo de força até 95 DAA em 2019, com 2,39 N (Figura 8C). Na safra 2021, houve decréscimo de força até 113 DAA, com 2,53 N (8D).

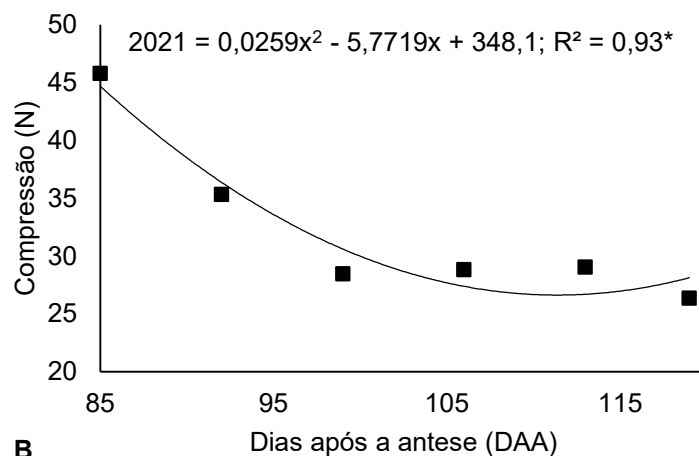
A redução da firmeza da casca, bem como a espessura da casca, pode tornar os frutos mais vulneráveis a danos mecânicos ou até ao ataque de insetos, que pode servir de entrada para patógenos oportunistas. Na lichia 'Bengal', observou-se que nas safras a partir de 88 DAA em 2019 e 99 DAA em 2021, aumentaram-se os danos por insetos nos frutos. A abelha arapuá (*Trigona spinipes*) é uma das principais polinizadoras da lichieira que é cultivada no Brasil, porém, durante o período de amadurecimento dos frutos, é responsável por causar danos.

A firmeza é uma característica importante na qualidade dos frutos, está relacionada à palatabilidade, como os frutos tornam-se mais macios com sua redução durante a maturação; é um parâmetro importante para a aceitabilidade (Chitarra; Chitarra, 2005).

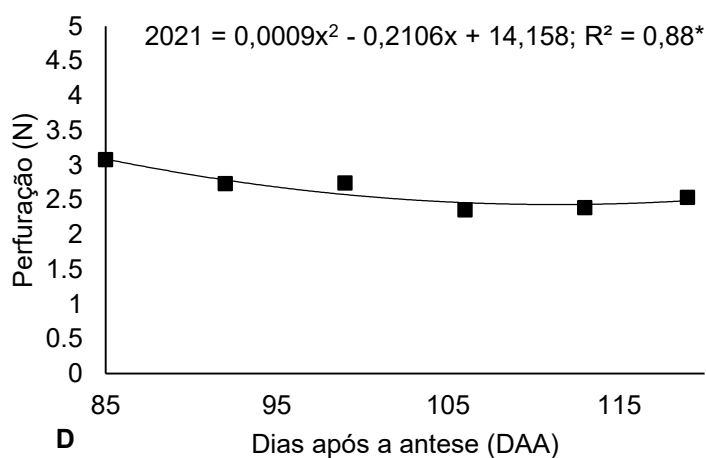
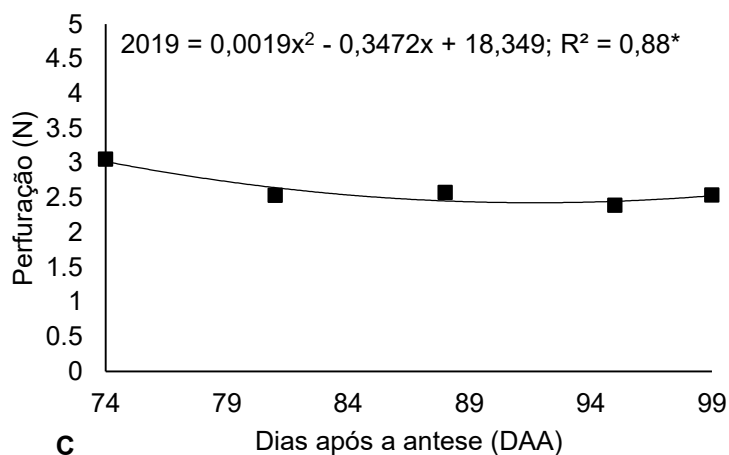
Figura 8 – Textura da casca de lichia 'Bengal', compressão fruto safra 2019 (A), compressão fruto safra 2021 (B), perfuração casca safra 2019 (C) e perfuração casca safra 2021 (D)



A



B



Coloração da epiderme

Na safra de 2019 os indícios iniciais de mudança de coloração na casca (epiderme), de 5 a 10% de vermelho, ocorreram 74 dias após a antese. Nos frutos avaliados na safra 2021, a mudança de coloração na casca começou depois da primeira quinzena de novembro, 85 dias após a antese.

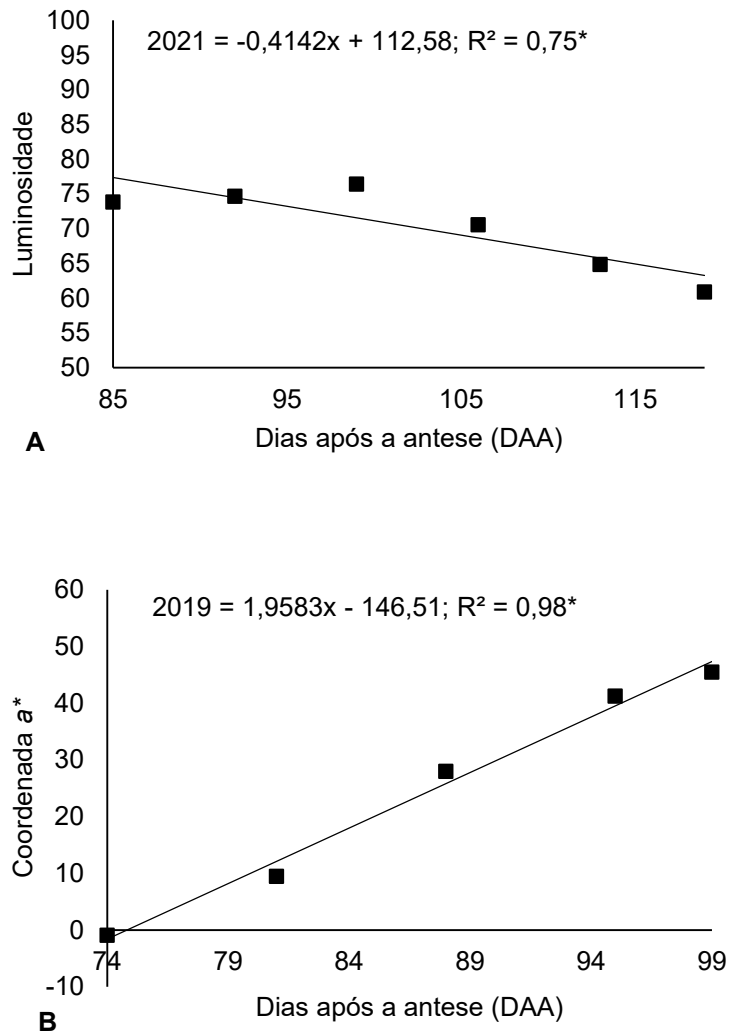
No valor de L (Figura 9A), que indica o brilho da casca durante os estádios de maturação, foi observado diferença entre as semanas para este parâmetro apenas na safra 2021, onde ocorreu decréscimo da luminosidade da casca ao longo das semanas (Figura 9A).

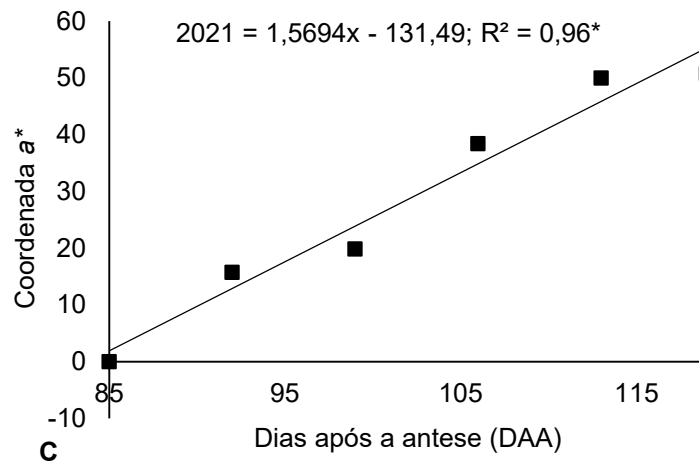
Ainda na mensuração de coloração da casca ao longo dos estádios de maturação, a coordenada a^* também teve diferença entre as semanas nas duas safras avaliadas (2019 e 2021), com aumento da cor vermelha a medida que o fruto foi amadurecendo (Figura 9B e C). A lichia 'Bengal' durante o amadurecimento

apresenta mudança de coloração de verde para vermelho, resultando no aumento da coordenada a^* .

Os valores da coordenada a^* , em 2019, na última semana de avaliação foram 44,48, diferente dos frutos da safra 2021 com 50,78. Esta diferença da intensidade de coloração vermelha dos frutos, pode ter sido causada pela diferença entre as safras no número de dias da antese até os frutos com coloração de 100% de vermelho na casca.

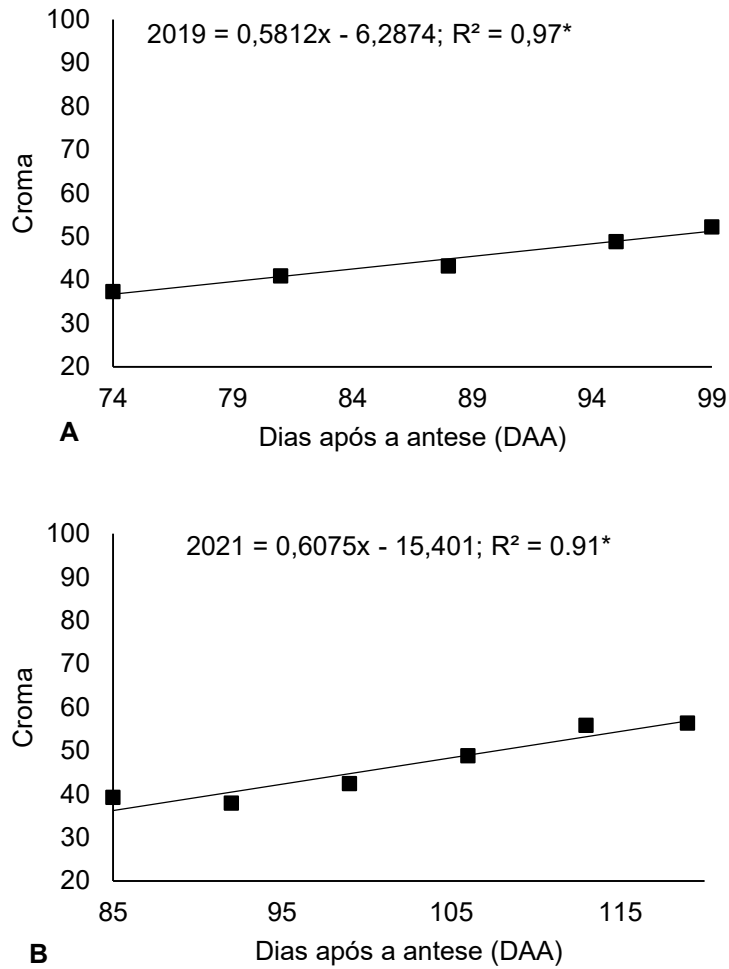
Figura 9 – Parâmetros de coloração da casca de lichia ‘Bengal’. Luminosidade safra 2021 (A), coordenada a^* safra 2019 (B) e coordenada a^* safra 2021 (C)





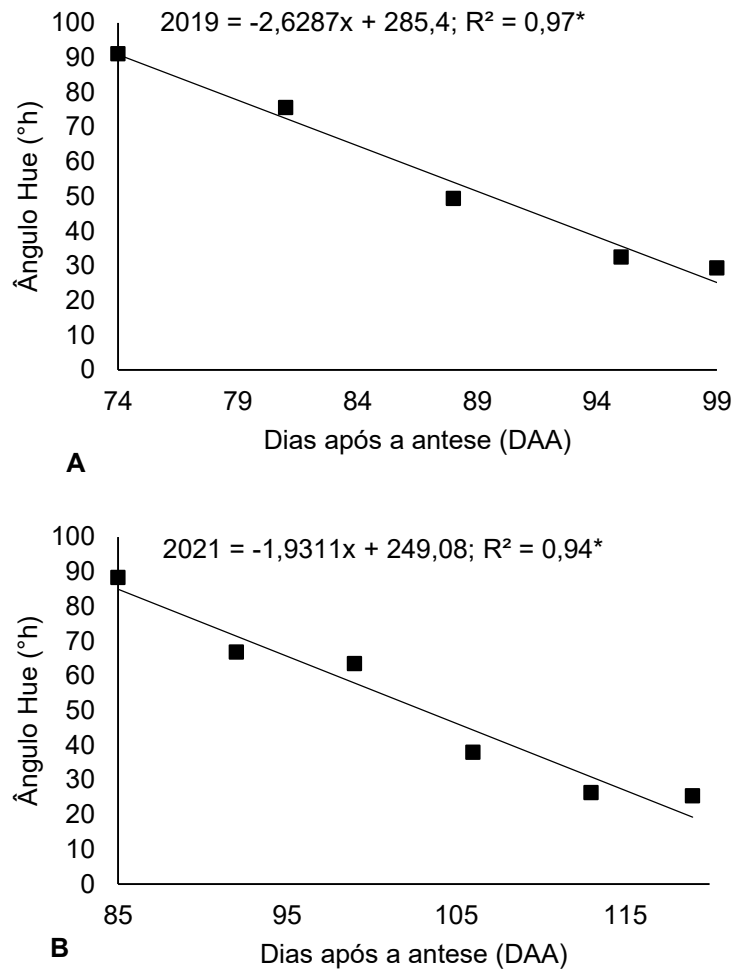
Nos resultados de cor de crosta da casca dos frutos, houve diferença significativa entre as semanas avaliadas nas duas safras, com aumento linear ao longo da maturação dos frutos (Figuras 10A e B).

Figura 10 – Parâmetros de coloração da casca de lichia ‘Bengal’. Cromo da casca safra 2019 (A) e safra 2021 (B)



Nos resultados obtidos de ângulo Hue, houve decréscimo de forma linear nas duas safras avaliadas (Figuras 11A e B).

Figura 11 – Parâmetros de coloração da casca de lichia ‘Bengal’. Ângulo Hue da casca safra 2019 (A) e safra 2021 (B)



No início da maturação da lichia, ocorre a pigmentação do pericarpo com a degradação de clorofila e acúmulo de antocianinas, presentes principalmente nas camadas externas no pericarpo (casca) (Wang et al., 2017). A proteína Stay Green (SGR) possivelmente tem papel fundamental na degradação da clorofila no pericarpo da lichia durante a maturação (Lai et al., 2015).

As principais envolvidas na pigmentação da casca da lichia são as antocianinas cianidina-3-rutinosídeo e cianidina-3-glicosídeo, outros que estão presentes na casca são a quercetina 3-rutinosídeo (rutina), quercetina glucosídeo e taninos (proantocianidinas poliméricas) (Anjum et al., 2017; Rivera-López et al., 1999).

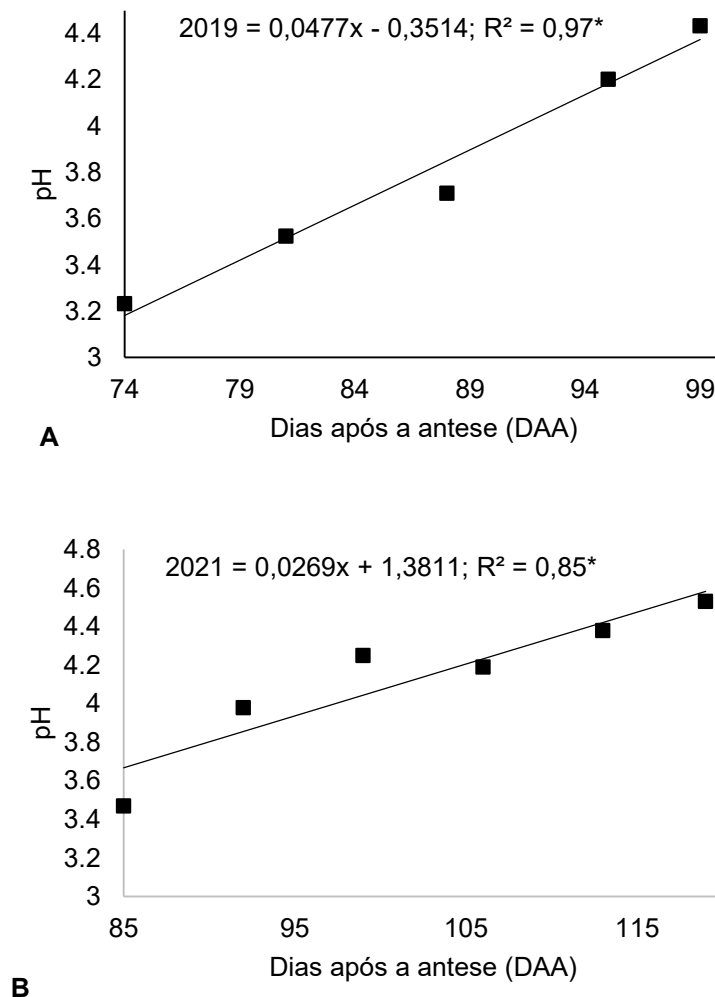
As enzimas chalcona isomerase (CHI), chalcona sintase (CHS), flavanona 3-hidroxilase (F3H), flavonóide 3'-hidroxilase (F3'H), di-hidroflavonol 4-reductase (DFR), antocianidina sintase (ANS) e UDP-glicose:flavonóide 3-O-glicosiltransferase (UFGT),

são codificadas por uma série de genes e são envolvidas na via biossintética da antocianina na lichia (Wei et al., 2011).

Potencial hidrogeniônico, sólidos solúveis, acidez titulável e ácido ascórbico

Na variável pH da polpa, teve diferença significativa nas duas safras avaliadas. Ao longo das semanas de avaliação foi ocorrendo aumento de pH da polpa dos frutos (Figuras 12A e B). Com 99 dias após a antese na safra 2019 o pH foi de 4,43 e em 2021 foi de 4,53 na última semana de avaliação (119 DAA).

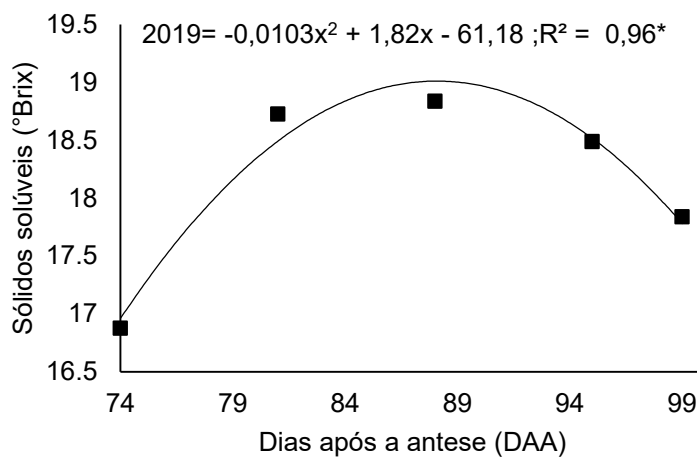
Figura 12 – pH safra 2019 (A) e pH safra 2021 (B) do fruto de lichia ‘Bengal’



Os sólidos solúveis tiveram diferenças entre as semanas avaliadas somente na safra 2019, ocorrendo decréscimo ao longo do amadurecimento (Figura 13). O acúmulo de açúcares no arilo é acompanhado pela perda de ácido. Os ácidos totais

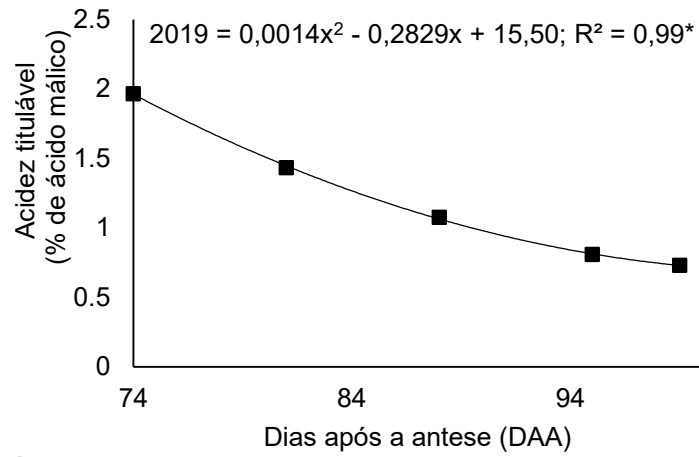
continuam diminuindo desde o início do rápido crescimento do arilo até a maturidade total (Wang et al., 2006; Wu et al., 2016).

Figura 13 – Sólidos solúveis safra 2019 do fruto de lichia ‘Bengal’

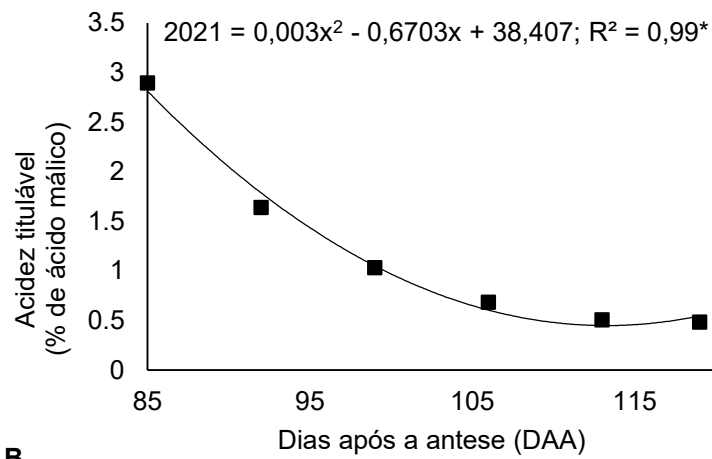


A acidez titulável teve diferença na porcentagem de ácido málico ao longo das semanas nas duas safras. Entre a quarta e quinta semana após o início de mudança de coloração na casca, a porcentagem de ácido málico estabiliza, anteriormente ao longo das semanas vai ocorrendo decréscimo (Figuras 14A e B). A acidez diminuiu com o aumento dos sólidos solúveis, semelhante ao aumento do pH com a diminuição da acidez.

Figura 14 – Acidez titulável safra 2019 (A) e acidez titulável safra 2021 (B) do fruto de lichia ‘Bengal’



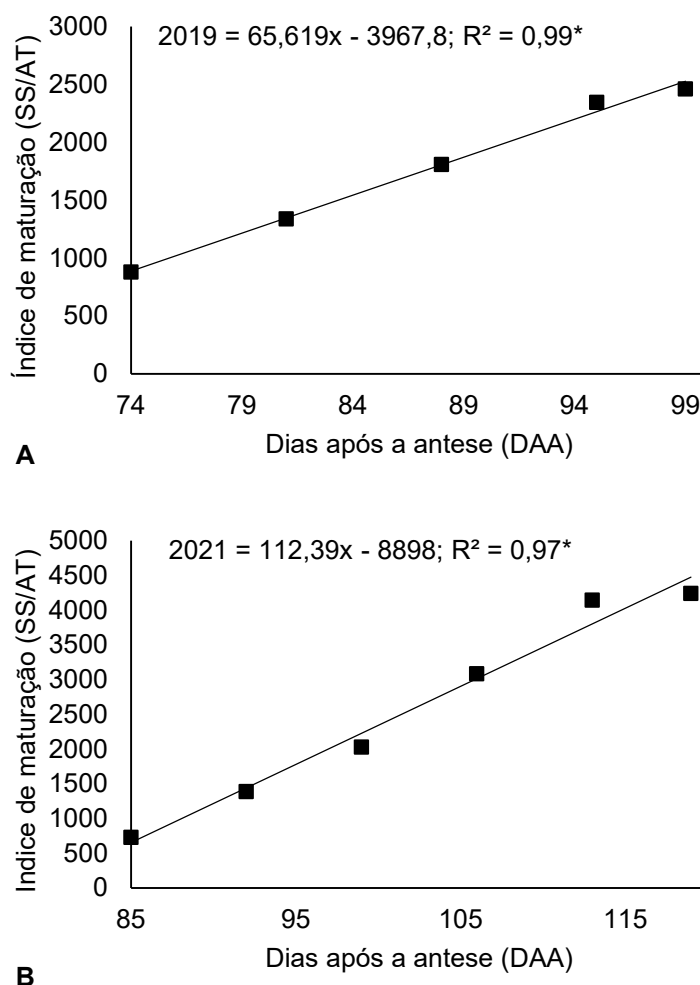
A



B

O índice de maturação aumentou de forma linear ao longo das semanas avaliadas nas duas safras (Figuras 15A e B).

Figura 15 – Índice de maturação safra 2019 (A) e índice de maturação safra 2021 (B) do fruto de lichia ‘Bengal’

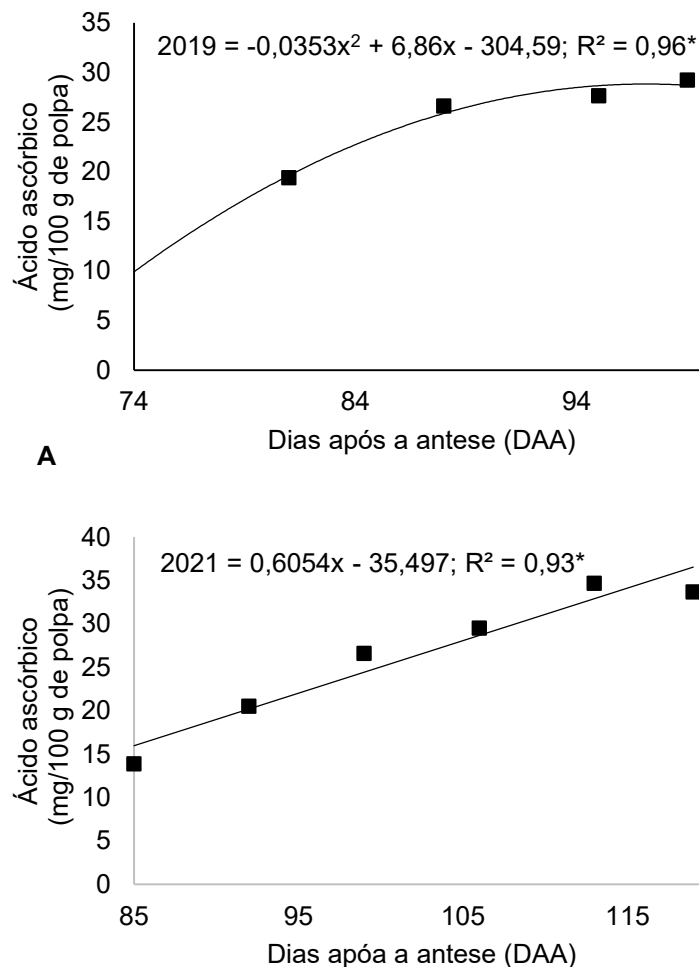


A concentração de ácido ascórbico na polpa também foi aumentando ao longo da maturação dos frutos na safra 2019 (Figura 16A). Na safra 2021, o comportamento parecido com a safra 2019, porém o maior valor de concentração avaliado em 2021 foi com 113 dias após a antese, posteriormente ocorreu decréscimo. Na avaliação da concentração de ácido ascórbico na polpa de lichia ‘Bengal’ na safra de 2019, a maior concentração foi de 29,22 mg 100 g⁻¹, porém em 2021, foi de 34,66 mg 100 g⁻¹. Esse aumento dos teores de vitamina C ao decorrer do desenvolvimento dos frutos, também foi observado por Trong et al. (2021).

A vitamina C é uma das vitaminas hidrossolúveis mais importantes, presente em frutas e vegetais, tem duas formas que são biologicamente ativas, ácido ascórbico e ácido dehidroascórbico (Gokmen et al., 2008). O ácido ascórbico é essencial na alimentação, pois atua principalmente como antioxidante no organismo humano (Wu et al., 2016).

A concentração de ácido ascórbico varia de acordo com a cultivar, em estudo realizado com 10 diferentes cultivares de lichia, variou de 8-39 mg g⁻¹ de peso fresco, sendo a cultivar Feizixiao com a maior concentração e a 'Guiwei' com a menor (Wu et al., 2016). Wang et al. (2006) também observaram esta diferenciação entre cultivares de lichieira, e também ao longo da maturação.

Figura 16 – Ácido ascórbico safra 2019 (A) e ácido ascórbico safra 2021 (B) do fruto de lichia 'Bengal'

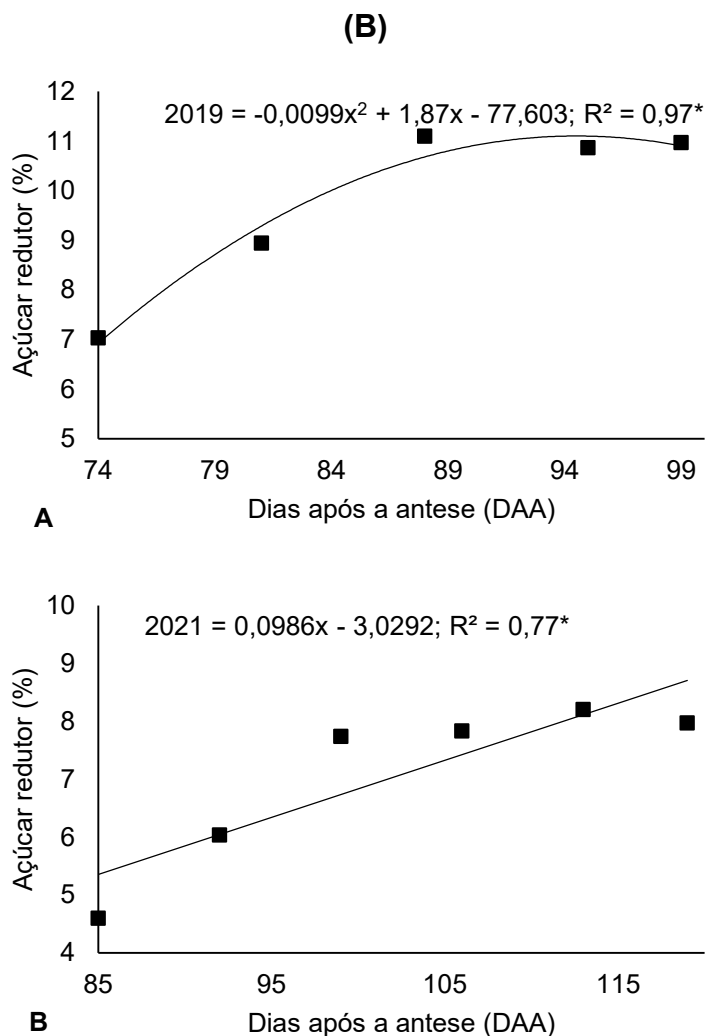


Açúcares redutores, açúcar não redutor açúcares totais

No açúcar não redutor (sacarose), os frutos das duas safras avaliadas tiveram diferença significativa ao longo da maturação dos frutos. Porém, para porcentagem de açúcar redutor (glicose e frutose) nas duas safras ocorreu diferença ao longo das semanas avaliadas (Figuras 17A e B). Na safra 2019 houve aumento quadrático na

porcentagem de sacarose com 10,97% na última semana de avaliação (99 DAA), porém, na safra 2021 a porcentagem deste açúcar foi menor na última avaliação (119 DAA), com 7,97%.

Figura 17 – Açúcares redutores safra 2019 (A) e açúcares redutores safra 2021



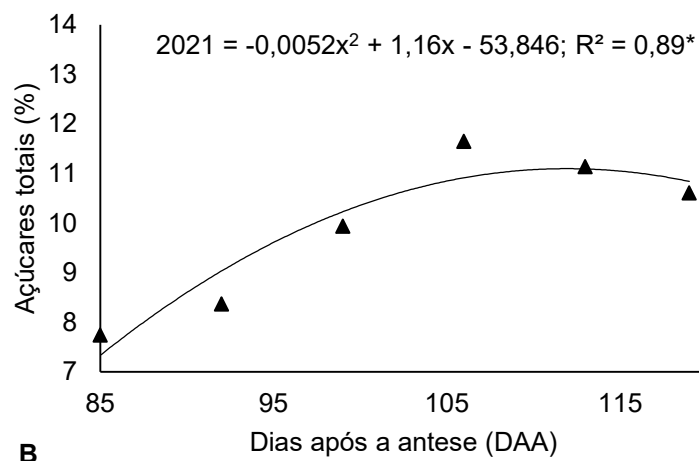
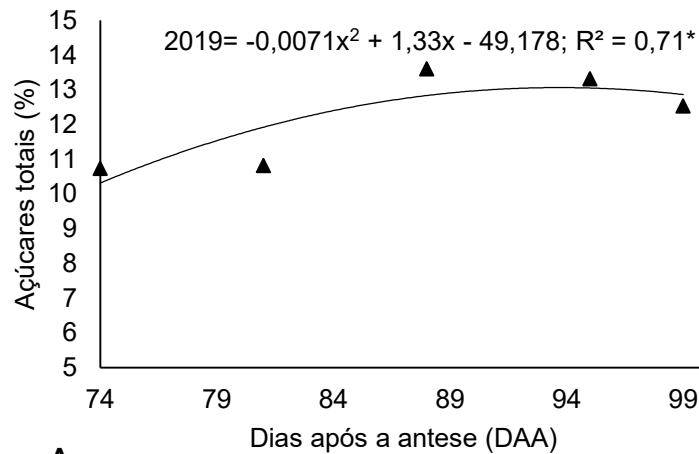
A porcentagem de açúcares totais, na safra 2019 foi maior que na safra 2021, ocorreu diferença entre as semanas avaliadas, onde a porcentagem de açúcar total foi aumentando ao longo da semanas e na última avaliação houve decréscimo (Figura 18A). Foram aproximadamente 13% aos 88 e 95 dias após a antese e 12,53% aos 99 DAA. Na safra 2021, foram aproximadamente 11% aos 106 e 113 DAA e aos 119 dias foram 10,61% (Figura 18B).

A quantidade e os tipos de açúcares na fruta in natura influenciam diretamente em sua qualidade e sabor, favorecendo seu consumo no ponto de colheita (Yang et

al., 2013). A sacarose, glicose e frutose são os açúcares solúveis predominantes encontrados na lichia, porém, a quantidade total de açúcares acumulados varia entre as cultivares (Wang et al., 2006; Wu et al., 2016; Yang et al., 2013). O arilo da lichia acumula de 15 a 20% de açúcares em relação a massa fresca (Yang et al., 2013).

As cultivares de lichia podem ser divididas em três tipos em relação aos teores de açúcares, as predominante de sacarose, intermediário e o tipo predominante de hexose (Yang et al., 2013).

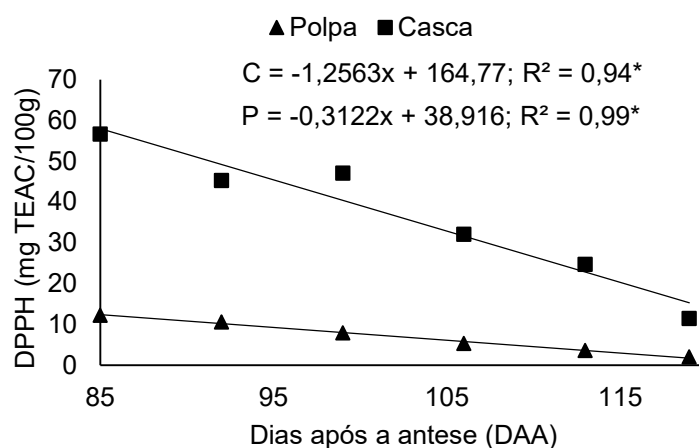
Figura 18 – Açúcares totais safra 2019 (A) e açúcares totais safra 2021 (B)



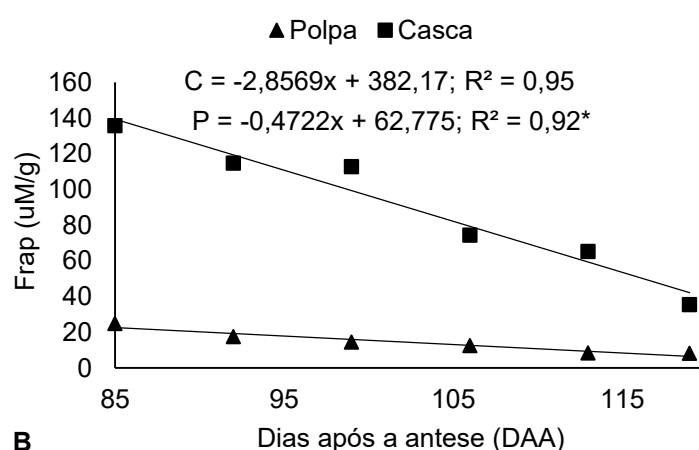
Fenóis totais, FRAP, DPPH e flavonoides

A capacidade antioxidante na casca e na polpa decresceu durante a maturação dos frutos (Figuras 19A e B). O mesmo foi observado para o teor de fenóis totais e flavonoides (Figuras 20A, B e C). Ao longo da maturação, esses compostos vão diminuindo e isso pode tornar os frutos mais suscetíveis ao ataque de patógenos.

Figura 19 – Compostos bioativos de lichia ‘Bengal’ Safra2021/2022. Capacidade antioxidante na casca e na polpa, método DPPH (A), capacidade antioxidante na casca e polpa, método FRAP (B)



A



B

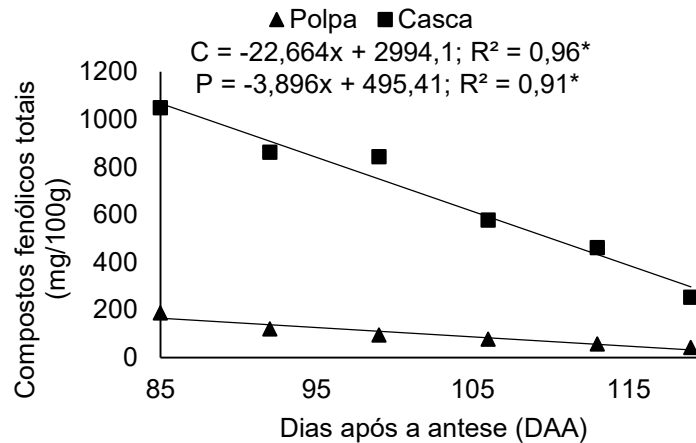
Segundo Wu et al. (2016), os flavonoides são os compostos fenólicos predominantes na polpa da lichia e a concentração em relação aos fenólicos totais varia de 56% a 85% em diferentes cultivares de lichieira. A maioria dos polifenóis

contidos na fruta lichia são flavonoides que contêm (+)-catequina ou (-)-epicatequina como unidade monomérica (Yamanishi et al., 2014).

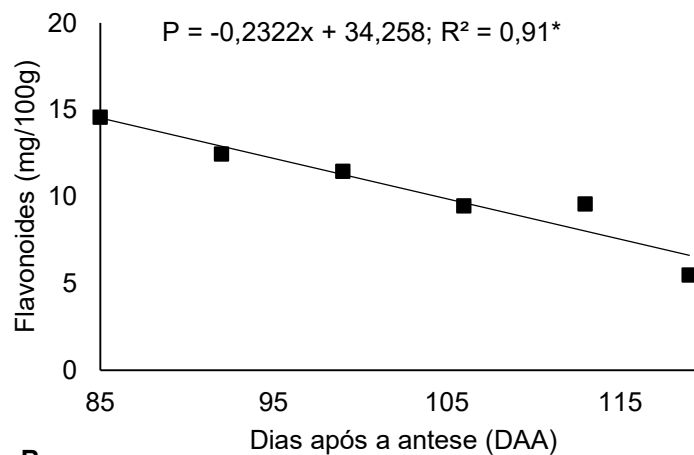
Wu et al. (2016), citam que os compostos fenólicos totais presentes no arilo variaram de 0,47 a 1,6 mg g⁻¹ do peso fresco, dependendo a cultivar.

O pericarpo de lichia pode ser considerado um importante fonte de compostos fenólicos naturais, que apresentam propriedades antioxidantes e atividades antimutagênicas (Wang et al., 2011).

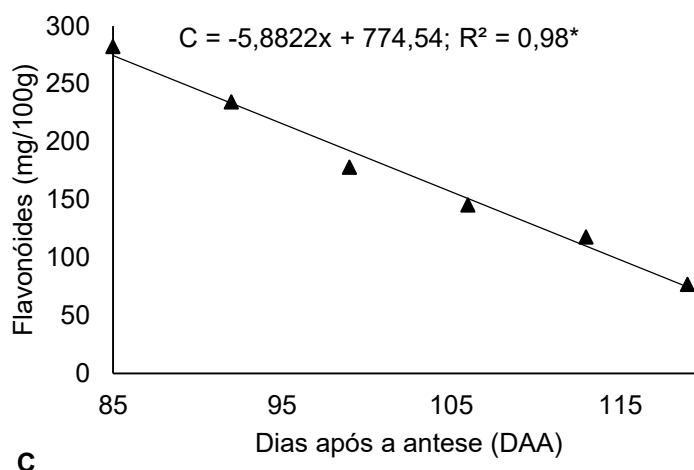
Figura 20 – Compostos bioativos de polpa de lichia ‘Bengal’ Safra2021/2022. Compostos fenólicos totais na casca e polpa (A), flavonoides na polpa (B) e flavonoides na casca (C)



A

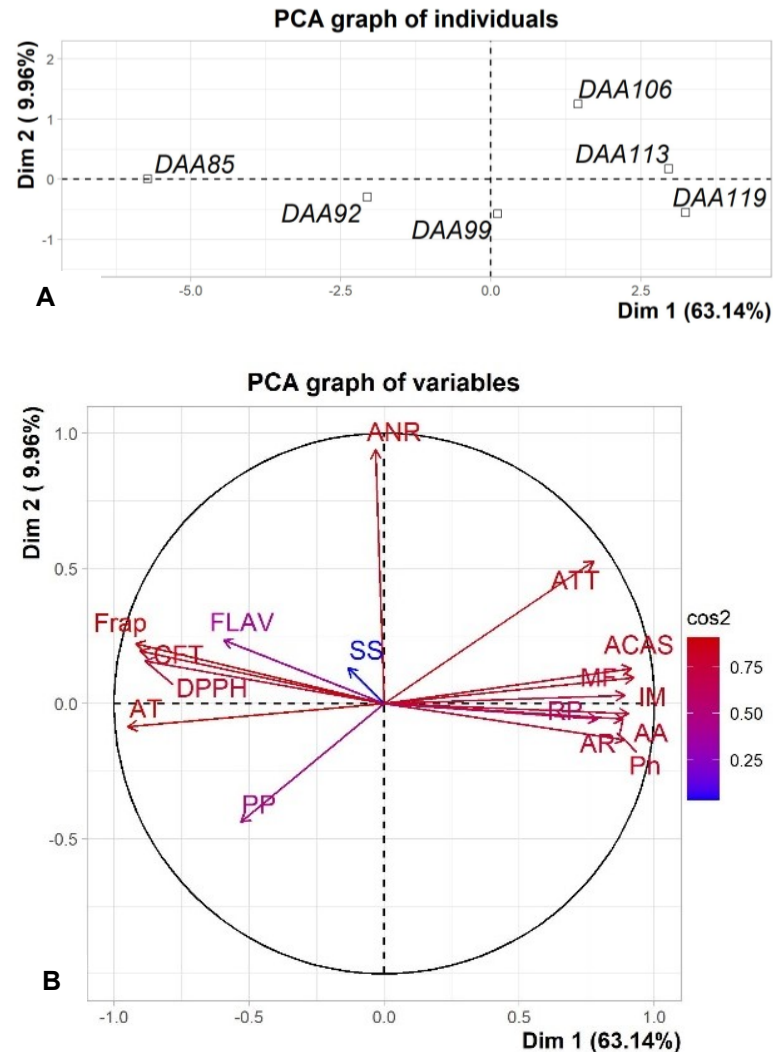


B



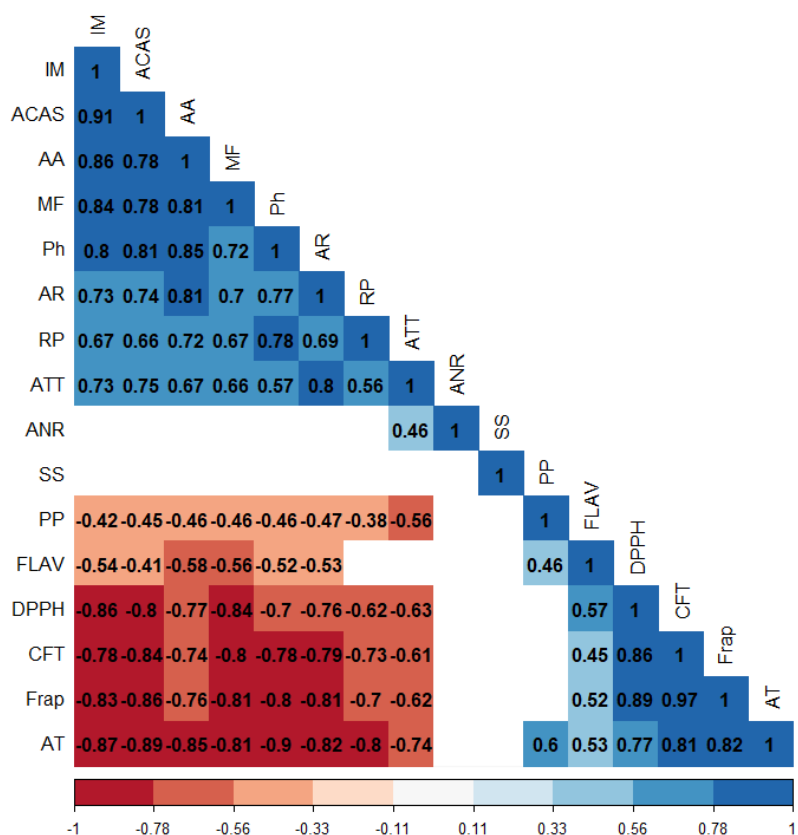
A análise de componentes principais (PCA) foi realizada somente nos dados da safra 2021. Os PCs 1 (63,14%) e 2 (9,96%) representam 73,1% da variação dos dados. As primeiras semanas de avaliação (85, 92 e 99 dias após a antese), tem relação direta com os teores de flavonoides, atividade antioxidante, compostos fenólicos totais, acidez e firmeza da casca. As variáveis açúcar total, açúcar redutor, ácido ascórbico da polpa, índice de maturação, pH da polpa, massa do fruto e coloração vermelha da casca tem relação direta com 113 e 119 dias após a antese (Figura 21A e B).

Figura 21 – Análise de componentes principais dos descritores fisiológicos da maturação da lichia ‘Bengal’ realizada na safra 2021. A: PCA gráfico individual, DAA: dias após a antese. B: PCA gráfico com as principais variáveis



Na figura 22, observa-se que os compostos bioativos (atividade antioxidante (FRAP e DPPH), flavonoides e compostos fenólicos totais) e acidez titulável tem correlação negativa com o índice de maturação, coloração vermelha da casca e ácido ascórbico. Observa-se também que a coloração da casca é correlacionada positivamente ao índice de maturação, teor de ácido ascórbico, açúcares e pH.

Figura 22- Correlação entre os descritores fisiológicos de maturação de lichia ‘Bengal’



Houve diferenças climáticas entre as duas safras avaliadas, no ano de 2019, de janeiro a abril foram os meses mais quentes, ao serem comparadas as médias de 2020 e 2021 neste mesmo período (Figura 3). Durante o inverno as temperaturas médias também foram maiores no ano de 2019, porém durante o período de floração no mês de setembro, a temperatura média ficou menor que 2021 (Figura 3). Essa variação de temperatura ao longo do ano é esperada para a região de condução do estudo. Também foram observados diferenças nos padrões de precipitação durante as safras avaliadas. O período de maior déficit hídrico foi no ano de 2020, onde além da distribuição desigual de precipitação, com superávit de 345 mm em janeiro e fevereiro, ocorreu déficit nos meses de março, abril, maio, julho, agosto, setembro, outubro e novembro (Figura 4). Essas variações podem ter influenciado nos parâmetros de maturação que foram avaliados, pois tem diferenças entre as safras, destacando-se os tamanhos dos frutos, rendimento de polpa, açúcares totais e não

reductor, coloração (intensidade do vermelho), índice de maturação e concentração de ácido ascórbico na polpa.

2.4 CONCLUSÕES

Nas condições climáticas de São Manuel, São Paulo, o estágio ideal de colheita dos frutos de lichieira 'Bengal', pode variar de 95 até 113 dias após a antese, ou de 21 até 28 dias após o início de mudança de coloração de verde para vermelho na casca.

Ao longo da maturação dos frutos a concentração de ácido ascórbico aumenta na polpa, juntamente com a coloração vermelha, porém ocorre decréscimo na concentração de flavonoides, compostos fenólicos e da atividade antioxidante na casca e na polpa.

REFERÊNCIAS

- AKAMINE, E. K.; GOO, T. Respiration and ethylene production during ontogeny of fruit. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 98, p. 381-383, 1973.
- ANJUM, J.; LONE, R.; WANI, K. A. **Lychee (*Litchi chinensis*): Biochemistry, Panacea, and Nutritional Value**. In: Kumar, M., Kumar, V., Bhalla-Sarin, N., Varma, A. (eds) Lychee Disease Management. Springer, Singapore, 2017, p. 237-256.
- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, 15th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1990, p. 1058-1059.
- AWAD, M. A.; De JAGER, A.; Van WESTING, L. M. Flavonoid and chlorogenic acid levels in apple fruit characterization of variation. **Science Horticultural**, v. 83, n. 3-4, p. 249-263, 2000.
- BHERING, L. L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-90, 2017.
- BENZIE, Iris F. F.; STRAIN, John J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. **Analytical biochemistry**, v. 239, n. 1, p. 70-76, 1996.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C.; Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT-Food Science and Tecnology**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**, 2. ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2005.
- GÖKMEN, V.; KAHRAMAN, N.; DEMIR, N.; ACAR, J. Enzymatically validated liquid chromatographic method for the determination of ascorbic and dehydroascorbic acids in fruit and vegetables. **Journal of chromatography A**, v. 881, p. 309–316, 2008.
- IBGE. **CensoAgro 2017**. Disponível em: <https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76324>. Acesso em 29. Mar. 2023.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Coordenadores: Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008, p. 1020.
- KARUNA, K.; ADARSH, A.; SINGH, H. K.; MANKAR, A. Edible coating on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) for improvement of fruit quality and shelf life: a review. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.1211, p. 145-152, 2018.

LAI, B.; HU, B.; QIN, Y. H.; ZHAO, J. T.; WANG, H. C.; HU, G. B. Transcriptomic analysis of *Litchi chinensis* pericarp during maturation with a focus on chlorophyll degradation and flavonoid biosynthesis. **BMC Genomics**, v. 16, n. 225, p. 1-18, 2015.

LEDERMAN, I. E.; SILVA JUNIOR, J.F.; SACRAMENTO, C.K.; CARVALHO, J.E.U.; YAMANISHI, O. K. Frutas exóticas potenciais. p.437-460. In: A.C. SAGEBIN ALBUQUERQUE AND A.G. DA SILVA (Org.). **Agricultura Tropical – Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1ª. Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, v.1, 2008, p. 437-460.

MAGALHÃES, D. S., DA SILVA, D. M., RAMOS, J. D., SALLES PIO, L. A., PASQUAL, M., VILAS BOAS, E. V. B., ... DE MELO, E. T. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 253, 180-186, 2019.

MAHAJAN, P. V.; GOSWAMI, T. K. Extended storage life of litchi fruit using controlled atmosphere and low temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 28, p. 388-403, 2004.

MENZEL, C. Major pests and diseases. In: MENZEL, C. (ed.), **The lychee crop in Asia and the Pacific**. FAO, 2002, p. 74-83.

NELSON, N. A photometric adaptation of somogi method for determination of glucose. **Journal Biological Chemistry**, Baltimore, v. 153, p. 375-380, 1944.

PAREEK, S. Nutritional and Biochemical Composition of Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) Cultivars. **Nutritional Composition of Fruit Cultivars**, [s. l.], p. 395-418, 2016.

PUNIA, S.; KUMAR, M. Litchi (*Litchi chinensis*) seed: Nutritional profile, bioactivities, and its industrial applications. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 108, p. 58-70, 2021.

REYES, A.; CASTILLO, J. F.; MONTIEL, R. G. C.; CARRILLO, M. L. Phenolic content and antioxidant activity in litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.) pericarp. **Jökull Journal**, [s. l.], v. 66, n. 5, p. 63-73, 2016.

RIVERA-LÓPEZ, J.; ORDORICA-FALOMIR, C.; WESCHE-EBELING, P. Changes in anthocyanin concentration in lychee pericarp during maturation. **Food Chemistry**, London, v. 65, p. 195-200, 1999.

SANTOS, M. D. D.; BLATT, C. T. I. Teor de flavonóides e fenóis totais em folhas de *Pyrostegia venusta* Miers. de mata e de cerrado. **Brazilian Journal of Botany**, v. 21, n. 2, p. 135-140, 1998.

SAÚCO, V. G.; MENINI, U. G. **El litchi y su cultivo**. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), v. 83, 1987, p. 11-60.

SILVA, V. E.; TADAYOZZI, Y. S.; PUTTI, F. F.; SANTOS, F. A.; FORTI, J. C. Degradation of commercial glyphosate-based herbicide via advanced oxidative processes in aqueous media and phytotoxicity evaluation using maize seeds. **Science of The Total Environment**, v. 840, 156656, 2022.

SINGH, A.; PANDEY, S. D.; NATH, V. **The World Litchi Cultivars**. Technical Bulletin 007 NRC for Litchi, Mushahari, Muzaffarpur, 2012, p. 1-65.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA, R. R. M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu Reagent. **Methods Enzymology**, v. 299, p. 152-178, 1999.

SOMOGY, M. A Reagent for the copper-iodometric determination of very small amounts of sugar. **The Journal of Biological Chemistry**, v. 117, p. 771-776, 1937.

TRAN, H., KANZAKI, S., TRIEST, L. *et al.* Analysis of genetic diversity of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and wild forest relatives in the Sapindaceae from Vietnam using microsatellites. **Genet Resour Crop Evol**, v. 66, 1653-1669, 2019.

TRONG, L.; KHANH, N.; LE, H.; PHUONG, H.; HIEN, V. Physiological changes during the growth and development of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.) grown in Vietnam. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 43, n. 2, e-658, 2021.

WANG, H. C.; LAI, B.; HUANG, X. M. Litchi Fruit Set, Development, and Maturation. *In*: KUMAR, M.; KUMAR, V.; PRASAD, R.; VARMA, A. **The Lychee Biotechnology**. Springer, 2017, p. 1-30.

WANG, H. C.; HUANG, H. B.; HUANG, X. M.; HU, Z. Q. Sugar and acid compositions in the arils of *Litchi chinensis* Sonn.: cultivar differences and evidence for the absence of succinic acid. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [s. l.], v. 81, p. 57-62, 2006.

WANG, H. C.; HU, Z. Q.; WANG, Y.; CHEN, H. B.; HUANG, X. M. Phenolic compounds and the antioxidant activities in litchi pericarp: difference among cultivars. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, p. 784-789, 2011.

WEI, Y. Z.; HU, F. C.; HU, G. B.; LI, X. J.; HUANG, X. M.; WANG, H. C. Differential expression of anthocyanin biosynthetic genes in relation to anthocyanin accumulation in the pericarp of *Litchi chinensis* Sonn. **PLoS One**, [s. l.], v. 6, e19455, 2011.

WILBERTH, M. B., ENRIQUE, S. D., JOEL, G., VELOZ, S. Crescenciano variaciones bioquímicas-fisiológicas y físicas de las frutas de pitahaya (*hylocereus undatus*) almacenadas en ambiente natural. México. **Revista iberoamericana de tecnología postcosecha**, [s. l.], v. 14, n. 1, 21-30, 2013.

WU, Z.-C., YANG, Z.-Y., LI, J.-G., CHEN, H.-B., HUANG, X.-M., & WANG, H.-C. (2016). Methyl-inositol, γ -aminobutyric acid and other health benefit compounds in the aril of litchi. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, [s. l.], v. 67, n. 7, 762-772, 2016.

YAMANISHI, R.; YOSHIGAI, E.; OKUYAMA, T.; MORI, M.; MURASE, H.; MACHIDA, T.; OKUMURA, M.; NISHIZAWA, M. 2014. The anti-inflammatory effects of flavanol-rich lychee fruit extract in rat hepatocytes. **PLoS One**, [s. l.], v. 9, n. 4, e93818, 2014.

YANG, Z.; WANG, T.; WANG, H.; HUANG, X.; QIN, Y.; HU, G. Patterns of enzyme activities and gene expressions in sucrose metabolism in relation to sugar accumulation and composition in the aril of *Litchi chinensis* Sonn. **Journal of plant physiology**, Stuttgart, v. 170, p. 731-740, 2013.

CAPÍTULO 3

TEORES NUTRICIONAIS FOLIARES DE LICHIEIRA EM DIFERENTES ESTÁDIOS FENOLÓGICOS

RESUMO

A lichieira (*Litchi chinensis* Sonn.) no Brasil, ainda necessita de recomendações para o adequado manejo nutricional e recomendação de adubação. O suprimento adequado de nutrientes para a lichieira é o principal requisito que contribui para maior produção de frutos e com qualidade. O trabalho teve como objetivo avaliar os teores foliares em estádios fenológicos da lichieira 'Bengal'. O experimento foi conduzido com a cultivar 'Bengal' no período correspondente aos anos de 2019 até 2022, na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). As coletas das amostras foliares foram realizadas em quatro estádios fenológicos da planta. Avaliaram-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. O delineamento foi inteiramente casualizado e conduzido em parcelas subdivididas (4x3), estágio x ciclo, com 10 repetições. As parcelas foram representadas pelos estádios fenológicos: floração plena (FP), fruto maduro (FM), 40 dias após a colheita (PC) e período vegetativo (PV). As subparcelas foram representadas pelos os ciclos de avaliação: ciclo 1 (safra 2019/2020), ciclo 2 (safra 2020/2021) e ciclo 3 (safra 2021/2022). Houve diferença nos teores de nutrientes entre os ciclos produtivos, e nos estádios fenológicos da lichieira. Os teores médios nas folhas, nas diferentes épocas de amostragem, seguiram a seguinte ordem em relação aos macronutrientes N>K>Mg>Ca>P>S e Mn>Fe>B>Zn>Cu para os micronutrientes.

PALAVRAS-CHAVE: *Litchi chinensis* Sonn.; cultivar Bengal; macronutrientes; micronutrientes.

ABSTRACT

The lychee plant (*Litchi chinensis* Sonn.) in Brazil still needs recommendations for adequate nutritional management and fertilizer recommendations. The adequate supply of nutrients for the lychee is the main requirement that contributes to greater production of quality fruit. The objective of this study was to evaluate the leaf contents in phenological stages of 'Bengal'. The experiment was conducted with the cultivar 'Bengal' in the period corresponding to the years 2019 to 2022, in the São Manuel Experimental Farm of the School of Agriculture (FCA), São Paulo State University "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP). Leaf samples were collected at four phenological stages of the plant. Nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, boron, copper, iron, manganese and zinc contents were evaluated. The design was entirely randomized and conducted in subdivided plots (4x3), stage x cycle, with 10 replicates. The plots were represented by the phenological stages: full blooming (FP), ripe fruit (FM), 40 days after harvest (PC) and vegetative period (PV). The subplots were represented by the evaluation cycles: cycle 1 (harvest 2019/2020), cycle 2 (harvest 2020/2021) and cycle 3 (harvest 2021/2022). The average leaf contents at the different sampling times followed the following order for macronutrients N>K>Mg>Ca>P>S and Mn>Fe>B>Zn>Cu for micronutrients.

KEY-WORDS: *Litchi chinensis* Sonn.; Bengal cultivar; macronutrients; micronutrients.

3.1 INTRODUÇÃO

A lichieira (*Litchi chinensis* Sonn.), nativa de regiões do sul da China, norte do Vietnã e da península Malaia, é cultivada em regiões de clima subtropical, onde a China é o principal produtor mundial (Hajari; Nonyane; Cronje, 2020; Yi et al., 2022).

No Brasil são cultivadas aproximadamente 1781 hectares, com área produtiva concentrada nas regiões Sudeste e Sul, onde o estado de São Paulo é responsável por 58,22% da área total cultivada e 54,67% da produção (IBGE, 2023). As cultivares comerciais de maior importância no Brasil são a 'Bengal' e 'Brewster' (Lederman et al., 2008).

A cultivar de lichieira 'Bengal' é de seleção de mudas da cultivar Purbi que é indiana e foi levada para Flórida-EUA em 1929 (Singh; Pandey; Nath, 2012), é vigorosa e têm alternância de produção, com variações significativas de produção entre as safras (Menzel, 2002).

A cultura da lichieira no Brasil, ainda necessita de recomendações para o adequado manejo nutricional em função da região de cultivo, pois em geral, os dados ainda são escassos e as indicações de adubação são de pesquisas realizadas em outros países (Grassi Filho; Santos; Creste, 2012).

O entendimento da exportação de nutrientes pela retirada de material com a realização de poda e colheita dos frutos é fundamental no manejo nutricional do pomar (Mellado-Vázquez et al., 2019). Além disso, o aumento da eficiência no uso de fertilizantes é de grande importância, não somente para obter maior rendimento e diminuição nos custos, mas para contribuir com uma agricultura mais sustentável (Rietra et al., 2017).

O suprimento adequado de nutrientes para a lichieira é o principal requisito que contribui para maior produção de frutos com qualidade. No entanto, se ocorrem deficiências nutricionais, além dos sintomas visuais nas partes da planta (folhas, flores, frutos, raízes e ramos), a produção é diretamente influenciada (Singh et al., 2019). Por outro lado, a adubação excessiva também é prejudicial, diminuindo a produção, principalmente por causar toxidez e competitividade com outros nutrientes (Yong; Wei; Ho, 2022).

A composição química de uma planta auxilia no entendimento das deficiências e desequilíbrios nutritivos, e principalmente em situações em que a deficiência ainda não está visual nas folhas (Chaney, 1984; Li et al., 2015).

O manejo de nutrientes baseado no estado nutricional das folhas é um método eficiente, porém a distribuição não é homogênea, indicando que há necessidade de métodos de amostragem foliares de diferentes cultivares de lichieira em relação às flutuações sazonais, idade da folha, posição dos folíolos e época adequada para amostragem (Singh et al., 2019). Além disso, cultura da lichieira necessita de uma recomendação para cada região de cultivo, seja em função dos diversos tipos de solo, clima, posição geográfica, além das técnicas adotadas no manejo cultural (Menzel; Simpson, 1987).

A determinação de padrões nutricionais foliares para uma determinada região levando em consideração o tempo de amostragem, pode permitir um diagnóstico

nutricional mais preciso, contribuindo para o uso racional de insumos, equilíbrio nutricional das plantas e maiores rendimentos das culturas (Cruz et al., 2019; Partelli et al., 2018; Yong; Wei; Ho, 2022).

Tendo em vista a importância crescente do cultivo da licheira no Brasil, considera-se de fundamental importância a realização de estudos a respeito da diagnose foliar, somada aos teores de nutrientes no solo, em função dos estádios fenológicos das plantas. Os resultados destes estudos certamente permitirão repor com mais precisão os nutrientes extraídos na ocasião das colheitas, gerando com isso, incrementos na produtividade e rentabilidade.

O trabalho teve como objetivo avaliar os teores foliares de nutrientes minerais em estádios fenológicos distintos da licheira 'Bengal', cultivada em região produtora da região centro sul do estado de São Paulo, Brasil.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização da área experimental e material vegetal

O experimento foi conduzido no período correspondente aos anos de 2019 até 2022, na Fazenda Experimental São Manuel da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), localizada no município de São Manuel, São Paulo, Brasil. A área de cultivo está situada a 22°46' S 48°34' O, com 740 m de altitude.

Foram utilizadas plantas com desenvolvimento uniforme, da cultivar Bengal com 11 anos de idade (2019), cultivadas num espaçamento de 5 m entre plantas e 6 m entre linhas, em condições de sequeiro.

3.2.2 Solo e amostragem da área experimental

O solo da área experimental é do tipo Latossolo Vermelho Distrófico Típico, textura arenosa (Santos et al., 2018).

Durante a condução do experimento foram realizadas coletas de solo no mês de outubro de 2019, nos meses de março (crescimento vegetativo) e outubro (desenvolvimento dos frutos) de 2020 e 2021 e em março de 2022. Foram realizadas

coletas nas camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade. Em cada profundidade, foram realizadas 12 subamostras em pontos localizados nas linhas de plantio.

As amostras de solo foram secas em estufa com temperatura de $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, posteriormente foram peneiradas e identificadas. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, FCA-UNESP, Botucatu (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização do solo nas camadas 0-20 e 20-40 cm na área experimental de cultivo de lichieira ‘Bengal’, São Manuel-SP

Parâmetro	Profundidade (cm)						Profundidade (cm)					
	0-20						0-40					
	2019 Out	2020 Mar	2020 Out	2021 Mar	2021 Out	2022 Mar	2019 Out	2020 Mar	2020 Out	2021 Mar	2021 Out	2022 Mar
pH (CaCl ₂)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,60	5,20	5,00	5,10	5,60	5,40	5,70	5,20
SB (mmol/dm ³)	13,00	11,00	13,00	14,00	19,00	14,00	16,00	12,00	16,00	19,00	20,00	15,00
CTC (mmol/dm ³)	26,00	22,00	28,00	28,00	31,00	26,00	28,00	23,00	28,00	32,00	31,00	27,00
V%	50,00	48,00	49,00	49,00	60,00	53,00	57,00	53,00	58,00	58,00	64,00	56,00
M.O. (g/dm ³)	27,00	9,00	6,00	5,00	18,00	5,00	5,00	8,00	5,00	3,00	3,00	3,00
P _{resina} (mg/dm ³)	8,00	8,00	11,00	12,00	18,00	17,00	8,00	5,00	12,00	7,00	10,00	7,00
H+Al (mmol/dm ³)	13,00	12,00	14,00	14,00	13,00	12,00	12,00	11,00	12,00	14,00	11,00	12,00
K (mmol/dm ³)	0,90	0,30	1,20	1,80	1,10	1,30	0,50	0,20	0,80	1,10	0,70	1,20
Ca (mmol/dm ³)	10,00	7,00	8,00	7,00	12,00	8,00	12,00	9,00	10,00	11,00	13,00	9,00
Mg (mmol/dm ³)	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	5,00	3,00	3,00	5,00	6,00	7,00	5,00
S* (mg/dm ³)	–	–	–	3,00	3,00	6,00	–	–	–	2,00	3,00	4,00
B (mg/dm ³)	0,19	0,10	0,14	0,26	0,19	0,23	0,16	0,09	0,08	0,23	0,11	0,25
Cu (mg/dm ³)	0,90	1,30	1,20	1,70	1,60	1,80	1,10	1,80	0,90	2,10	0,80	3,70
Fe (mg/dm ³)	19,00	14,00	14,00	24,00	12,00	13,00	17,00	12,00	11,00	16,00	10,00	11,00
Mn (mg/dm ³)	11,40	6,40	25,60	17,00	13,80	10,20	9,60	4,80	7,10	9,80	8,10	9,60
Zn (mg/dm ³)	0,70	0,90	1,10	1,10	0,90	2,60	0,40	0,70	0,70	0,80	0,40	1,80

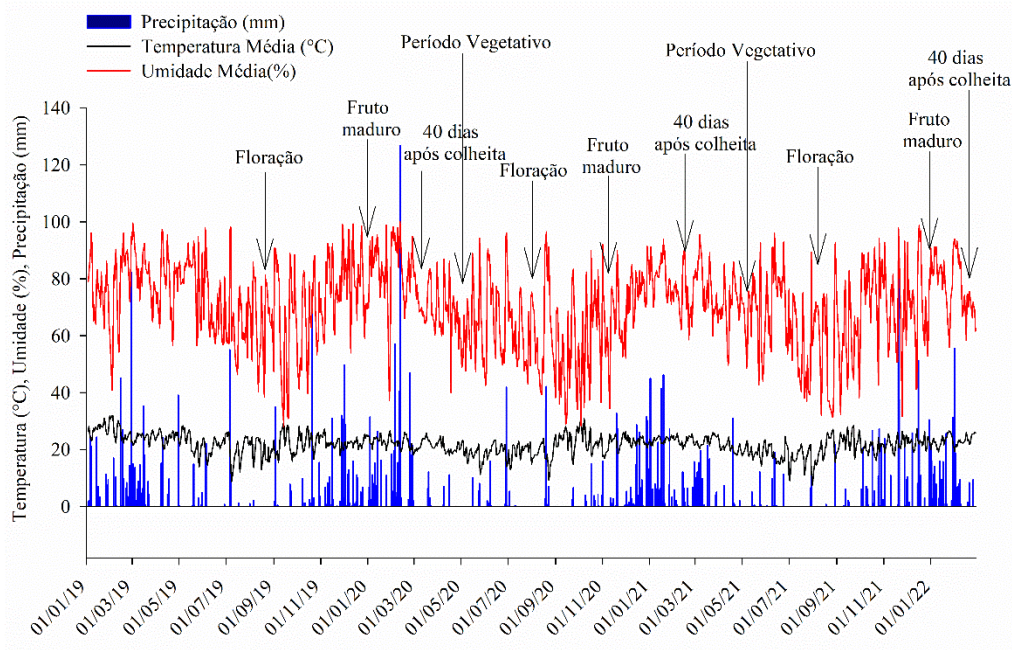
* Enxofre (S) avaliado semente nos anos de 2021 e 2022.

3.2.3 Clima e balanço hídrico

O clima na região de condução do experimento segundo a classificação de Koppen, é o temperado quente (tipo Cfa), mesotérmico com temperatura média do mês mais quente, superior a 22°C , invernos secos e concentração de chuvas no verão (Cunha; Martins, 2009).

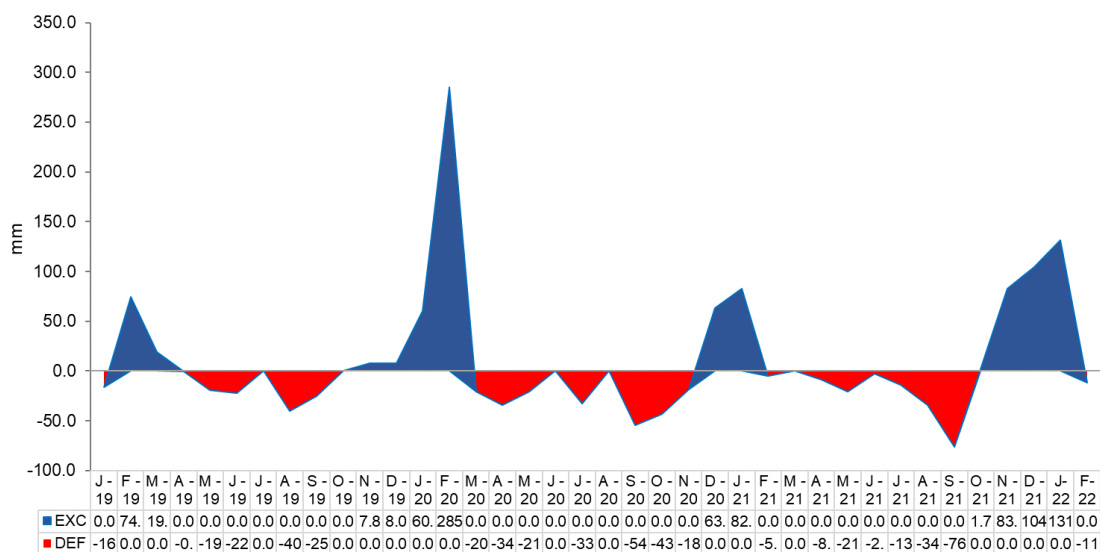
Durante todo período de condução das plantas foram realizadas coletas diárias dos dados climáticos (Figura 1).

Figura 1 – Dados climáticos do pomar de lichieira ‘Bengal’, no período de realização do experimento com indicação dos períodos de coleta das folhas para análise nutricional. São Manuel-SP, Brasil



O balanço hídrico (Figura 2) foi determinado adotando-se a capacidade de água disponível (CAD) de 90 mm e a profundidade média do sistema radicular da lichieira de 1 m (Menzel et al., 1990).

Figura 2 – Balanço hídrico do pomar de lichieira ‘Bengal’. São Manuel-SP, Brasil



3.2.4 Manejo e tratos culturais

O manejo de adubação foi realizado de acordo com a análise de solo, dividindo-se as aplicações em duas épocas, a primeira no mês de abril (período vegetativo) e a segunda em outubro (período de desenvolvimento dos frutos). As recomendações de adubação foram adaptadas com informações obtidas no Boletim 100 do Instituto Agrônomo de Campinas (RAIJ et al., 1997) e de Nakasone e Paull (1998). Foram adicionados aproximadamente 1500 g/planta/ano (dividido em duas épocas) da formulação 10-20-20 de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio), também foi realizado complementação de boro e zinco. A calagem foi para elevar a saturação por bases a 70% (Raij et al., 1997) no solo da área de cultivo com lichieira.

Foram realizadas somente podas de limpeza para retirada de ramos com sintomas do ácaro-da-erínose-da-lichia (*Aceria litchii* Keifer) no início de março. O controle do ácaro-da-erínose-da-lichia também foi realizado com aplicações de acaricida a base de enxofre (800 g kg⁻¹) na dosagem de 300 kg p.c. ha⁻¹ de produto e calda de 1000 L ha⁻¹.

O controle de plantas espontâneas no pomar foi realizado com roçadas mecânicas e capina manual.

3.2.5 Coletas e análise de folhas

As coletas das amostras foram realizadas em quatro estádios fenológicos da planta, sendo eles o vegetativo (maio), floração plena (mais de 50% das flores da panícula abertas, setembro), fruto maduro (dezembro) e após a colheita (40 dias após a colheita dos frutos, janeiro). Foram coletados aproximadamente 50 folíolos por planta, completamente expandidos da porção apical (segundo par de folíolos); as coletas foram realizadas nos quatro quadrantes da planta (Figura 3). Após a coleta o material vegetal foi lavado com água destilada, colocado sobre papel absorvente para retirada do excesso de umidade e em seguida colocadas em estufa com circulação de ar a temperatura de $37^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Assim que o material atingiu massa constante, foi realizada a trituração em moinho de facas.

Figura 3 – Lichieira ‘Bengal’ em diferentes estádios fenológicos. A: Vegetativo. B: Floração plena. C: Fruto maduro. D: 40 dias após a colheita



As avaliações foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Departamento de Solos da Faculdade de Ciências Agronômicas-FCA, Unesp/Botucatu.

Foram avaliados os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco (Malavolta; Vitti; Oliveira, 1997). Os métodos de avaliação estão resumidos na tabela 2.

Tabela 2 – Métodos de avaliação dos teores nutricionais foliares de licheira ‘Bengal’

Nutriente	Sigla	Método de avaliação
Fósforo	P	Colorimetria do metavanadato de amônio com espectrofotômetro VIS (Micronal, modelo B474).
Potássio, Cálcio, Magnésio, Cobre, Ferro, Manganês e Zinco	K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn	Espectrofotometria de absorção atômica com espectrofotômetro de absorção atômica (Perkin Elmer, modelo 2380).
Nitrogênio	N	Semi-micro-Kjeldahl.
Boro	B	Colorimetria azometina H com espectrofotômetro VIS (Micronal, modelo B474).
Enxofre	S	Turbidimetria de sulfato de bário com espectrofotômetro VIS (Micronal, modelo B474).

3.2.6 Delineamento experimental e metodologia estatística

O delineamento foi inteiramente casualizado conduzido em parcelas subdivididas (4x3), estágio x ciclo, com 10 repetições. As parcelas foram representadas pelos estádios fenológicos: floração plena (FP), fruto maduro (FM), 40 dias após a colheita (PC) e período vegetativo (PV). As subparcelas foram representadas pelos ciclos de avaliação: ciclo 1 (safra 2019/2020), ciclo 2 (safra 2020/2021) e ciclo 3 (safra 2021/2022).

Na análise estatística foi realizada inicialmente a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling e posterior verificação da homocedasticidade

(homogeneidade das variâncias) por meio do teste de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância, pelo teste F ($p < 0,05$). Quando significativas, as médias foram submetidas ao teste Tukey ($p \leq 0,05$) utilizando-se o programa estatístico R (versão 4.1.2). A análise da correlação de Pearson foi realizada utilizando o Software R (R Development Core Team). Para a elaboração do heatmap, utilizaram-se os pacotes “corrplot”, “latticeExtra” e “RColorBrewer” (Silva et al., 2022).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ocorreram diferenças climáticas entre os três ciclos (anos) de avaliação; no ano de 2019, de janeiro a abril foram os meses mais quentes, ao serem comparadas as médias dos demais anos (2020 e 2021) neste mesmo período (Figura 1). Durante o inverno as temperaturas médias também foram maiores no ano de 2019, porém durante o período de floração no mês de setembro, a temperatura média ficou menor que 2020 e 2021 (Figura 1). A variação de temperatura ao longo do ano é esperada para a região de condução do estudo.

Foram observadas diferenças nos padrões de precipitação durante os três ciclos de avaliação. O período de maior déficit hídrico foi no ano de 2020, onde além da distribuição desigual de precipitação, com superávit de 345 mm em janeiro e fevereiro, ocorreu déficit entre os meses de março até novembro (Figura 2). Esta condição de déficit pode ter influenciado diretamente nos teores nutricionais dos ciclos avaliados (2019/2020, 2020/2021, 2021/2022).

A licheira é uma frutífera cultivada em diferentes tipos de solos, desde arenosos até argilosos, ou solos com alto teor de matéria orgânica, porém as plantas se desenvolvem melhor em solos argilosos bem drenados e com média a alta fertilidade (Menzel, 2005).

A análise de variância dos dados nutricionais de licheira ‘Bengal’ está apresentada na tabela 3.

Tabela 3 – Análise de variância dos dados dos teores nutricionais de lichieira ‘Bengal’

Parâmetros avaliados	Quadrado Médio				C.V 1 (%)	C.V 2 (%)	Média Geral
	Ciclo	Estádios	Ciclo x Estádios	Blocos			
N	14,04**	62,30***	34,95***	1,19 ^{ns}	15,01	12,22	15,19
P	88***	39,4***	27,98***	1,41 ^{ns}	17,88	19,68	2,13
K	11,8**	51,4***	27,43***	1,87 ^{ns}	15,35	13,88	10,46
Ca	53**	23,8***	13,1***	5,8**	20,59	26,57	2,96
Mg	3 ^{ns}	36,5***	17,24***	6**	10,05	13,75	3,25
S	101***	20***	3,4**	1,1 ^{ns}	12,05	9,96	1,07
B	20***	18***	4,9**	1,75 ^{ns}	19,62	22,83	21,4
Cu	31,7***	40,4***	19,5***	3,2*	24,11	23,64	13,4
Fe	59,6***	31,4***	45,7***	1,78 ^{ns}	25,77	21,19	65,81
Mn	9,11**	18,9***	12***	3,6**	20,84	22,86	90,3
Zn	10,8**	44,2***	29,9***	1,77	15,42	13,32	19,42

CV1: Coeficiente de variação 1. CV2: Coeficiente de variação 2. * significativo para 10%, ** para 5** e *** para 1% e ^{ns} não significativo.

Houve diferença nos teores de nutrientes entre os ciclos produtivos, principalmente com os macronutrientes, nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre (Tabela 4), onde os maiores teores foram no ciclo 1 (2019/2020). Esta diferença entre os ciclos pode ter ocorrido devido à grande influência das mudanças climáticas ocorridas em cada estação (Figuras 1 e 2). Devido a isso, o manejo da fertilização nos pomares, deve ser sempre avaliado, visando a reposição de alguns nutrientes via solo e/ou foliar.

Tabela 4 – Médias dos teores nutricionais foliares de lichieira ‘Bengal’, nos diferentes estádios fenológicos

Estádio	Nutriente (g kg ⁻¹)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
FP	19.44±6.54a	2.86±1.43a	13.1±3.78a	2.2±1.14b	2.76±0.49b	1.21±0.21a
FM	14.06±1.62b	1.95±0.47b	10.07±1.97b	2.45±0.61b	2.91±0.72b	1.02±0.24b
PC	14.08±1.81b	1.91±0.36b	9.66±2.11bc	3.42±1.51a	3.69±0.63a	1.04±0.18b
PV	13.21±1.15b	1.85±0.4b	8.73±1.22c	3.63±1.21a	3.68±0.64a	1.02±0.19b
Ciclo						
1	16.69±6.8a	2.79±1.22a	11.36±4.05a	3.01±1.37b	3.16±1.08a	1.26±0.15a
2	14.86±1.99b	1.88±0.47b	9.87±2.34b	2.14±0.9c	3.34±0.57a	1.1±0.15b
3	14.04±1.45b	1.76±0.24b	9.94±1.69b	3.62±1.17a	3.28±0.47a	0.86±0.12c

Estádio	Nutriente (mg kg ⁻¹)				
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
FP	15.8±7.65b	18.93±6.31a	81.64±30.5a	63.32±29.19b	23.94±6.89a
FM	17.68±12.18b	12.52±3.08b	74.13±49.05a	77.87±41.85b	19.02±4.06b
PC	25.48±9.22a	10.93±6.17b	53.42±17.61b	110.97±48.56a	16.98±2.66bc
PV	26.65±8.9a	11.4±4.59b	54.03±16.15b	109.07±39.15a	17.7±2.51c
Ciclo					
1	17.98±10.55b	15.57±7.07a	56.17±17.97b	76.08±43.56b	20.27±7.52a
2	17.9±6.15b	14.55±5.23a	89.6±44.69a	92.45±43.49a	17.63±3.02b
3	28.33±11.03a	10.21±4.3b	51.64±13.21b	102.4±44.23a	20.33±3.11a

*Números em cada coluna seguidos por letras diferentes são estatisticamente diferentes ao nível de 5% pelo Teste Tukey. Ciclo 1: 2019/2020, ciclo 2: safra 2020/2021, ciclo 3: 2021/2022. FP: Floração Plena, FM: Fruto Maduro, PC: Após a Colheita, PV: Período Vegetativo.

Os teores adequados de nutrientes nas folhas da lichieira segundo estudos realizados por Menzel et al. (1992) em pomares da Austrália, após emergência da panícula, são: N (15-18 g kg⁻¹), P (1,4-2,2 g kg⁻¹), K (7-11 g kg⁻¹), Ca (6-10 g kg⁻¹), Mg (3-5 g kg⁻¹), B (25-60 mg kg⁻¹), Cu (10-25 mg kg⁻¹), Fe (50-100 mg kg⁻¹), Mn (100-250 mg kg⁻¹) e Zn (15-30 mg kg⁻¹). Já os teores ideais após a frutificação, de acordo com o estudo de Koen e du Plessis (1993) na África do Sul são: N (12,6-14,6 g kg⁻¹), P (1,5-2,0 g kg⁻¹), K (9-10,6 g kg⁻¹). Em ‘Feizixiao’, principal cultivar da China, Luo et al. (2021) citam que a faixa ideal de N durante o desenvolvimento inicial dos frutos é entre 16,7 à 19,2 g kg⁻¹, já na fase de maturação dos brotos terminais varia de 19,7 até 22 g kg⁻¹.

Neste estudo observou-se que os teores de N variaram significativamente de acordo estádio fenológico, principalmente durante a floração, onde as concentrações de N foram maiores, com $19,44 \text{ g kg}^{-1}$ (Tabela 4). Além disso, no período vegetativo teve a menor concentração de N, com média de $13,21 \text{ g kg}^{-1}$. Este decréscimo de N durante o período vegetativo deve-se ao fato do elemento estar sendo direcionado para os ramos da planta.

O decréscimo de N foliar após a colheita e no período vegetativo e o aumento durante o desenvolvimento da panícula, flores e frutos, também foi observado por Yao, Bai e Luo (2020). O N é um nutriente altamente móvel, translocado das folhas mais velhas para tecidos novos. Singh et al. (2019) citam que na análise foliar para recomendações de fertilização no pomar, o ideal são folhas com idade entre 4 a 5 meses e coletadas o segundo e terceiro par de folíolos, devido a estabilidade nas concentrações de nitrogênio. Menzel (2005), também cita que a idade da folha, o estágio fenológico e a estação afetam as concentrações de nutrientes, estes efeitos influenciam no diagnóstico nutricional dos pomares, sendo ideal adotar protocolos de amostragem e padronização dos teores.

A média de P nas folhas de lichieira no estágio de floração plena foi de $2,86 \text{ g kg}^{-1}$ diferindo das concentrações nos demais estádios, onde a menor concentração foi no período vegetativo, com $1,85 \text{ g kg}^{-1}$. Singh et al. (2019) observaram que o teor de fósforo foliar pode ter um rápido declínio quando ocorre emergência precoce de panículas. Além disso, baixos teores de P nas folhas, pode indicar que a lichieira tem menor exigência deste nutriente que outras frutíferas (Savita et al., 2020).

A maior concentração de potássio foi durante o estágio de floração plena, já nos estádios de fruto maduro (ponto de colheita), após a colheita e período vegetativo tem decréscimo na concentração de potássio no tecido vegetal. Nas folhas de lichieira os teores adequados de K, podem variar de $5,4$ à 11 g kg^{-1} , dependendo da época de avaliação (Koen; Du Plessis, 1993; Menzel et al., 1992).

Nos estádios do período vegetativo e após a colheita tiveram os menores teores de K nas folhas. Singh et al. (2019) também observaram que a concentração foliar de potássio aumentou ligeiramente na emergência das panículas e durante o desenvolvimento dos frutos foi atingindo gradativamente valores mínimos. Além disso, esse declínio do K pode ser devido a utilização do nutriente pelos frutos em desenvolvimento.

O potássio é um ativador de inúmeras enzimas e tem papel importante nos processos de síntese e de transporte de açúcares das folhas para os frutos, ou seja, há relação estreita entre a concentração de K e a concentração de açúcares, e os níveis de expressão de genes envolvidos no metabolismo do sorbitol (Shen et al., 2018; Xu et al., 2020). Além disso, o K participa de outros processos fisiológicos do crescimento e desenvolvimento vegetal, relações hídricas e fotossíntese (Pettigrew, 2008).

O K está envolvido em processos fisiológicos vitais e tem um impacto positivo em vários aspectos da qualidade da fruta e da produtividade de plantas frutíferas (Yenner; Altuntas, 2021). Cruz et al. (2019) citam que o potássio é fundamental para qualidade das frutas, na maioria das frutíferas o teor de K diminui após a colheita, indicando que é um nutriente é muito móvel na planta. Em pomares de lichieira na Austrália, Menzel et al. (1992) observaram variação sazonal na concentração de alguns nutrientes em folhas, além disso, após a colheita dos frutos há diminuição do teor de potássio (K), pode afetar a produção no ano seguinte (Yang et al., 2014).

Durante o período que os frutos estavam em ponto de colheita (fruto maduro), o P e K correlacionaram positivamente e negativamente com Ca, Mg e Mn (Figura 4A). No período após a colheita dos frutos, o K tem correlação positiva com o Cu e relação antagonista com B e Ca (Figura 4C). Ainda durante este período, Cu tem correlação negativa com Mn, B e Ca. A correlação negativa entre K e Ca foi observada na cultivar 'Feizixiao', onde os autores também observaram efeitos sinérgicos existem entre Ca, Mg e Zn (Yang et al., 2015). Singh et al. (2019), também fizeram a mesma observação em relação ao K e Ca.

O Ca e Mg, tiveram maiores concentrações nas folhas após a colheita dos frutos e durante o período vegetativo, estes nutrientes porém apresentam queda durante a florada. O Mg tem movimento mais limitado no floema e menor demanda durante o período de floração (Singh et al., 2019).

Os maiores teores de S observados foram durante a floração plena, diferindo dos demais estádios. Em estudo com a cultivar Feizixiao, durante o crescimento e período de colheita dos frutos, são fases críticas para o enxofre e o fósforo (YANG et al., 2015).

Durante o período vegetativo o Ca, Mn e B tem correlação negativa com Cu e o Fe e S com o Zn, além disso, o Ca tem correlação positiva com Mg (Figura 4D).

Neste estudo observou-se que diversos fatores podem influenciar nos teores de nutrientes foliares na lichieira, como o estágio da cultura ou o ciclo produtivo. Outro fator que pode apresentar variações significativas nos nutrientes foliares é a posição dos folíolos em brotos maduros de lichieira (Singh et al., 2017).

Os maiores teores de cobre e zinco foram durante a floração plena. Durante a florada e desenvolvimento dos frutos pode ocorrer declínio no conteúdo de cobre no tecido foliar, devido a translocação para estes órgãos vegetais, porém isso não foi observado, uma vez que as maiores concentrações foram nestes estádios (floração e fruto maduro, em ponto de colheita).

Assim como o potássio, o zinco também apresenta decréscimo após a colheita e no período vegetativo. Por outro lado, o Mn teve maiores concentrações nas folhas durante estes períodos (após a colheita dos frutos e durante o período vegetativo).

Nutrientes como o Mn e B tiveram maior concentração após a colheita e no período vegetativo da planta. O teor de Mg e Mn foliar durante o estágio de floração plena da lichieira, correlacionou negativamente com o N, Cu, Zn, K e P (P_2O_5). Durante este estágio o Ca foi antagonista ao S (Figura 4B). O Mg e o Mn apresentaram correlação positiva.

Existem diferenças na capacidade de absorção e transporte de nutrientes durante os estádios de desenvolvimento da lichia, com variações no período do crescimento e desenvolvimento das plantas (Yang et al., 2015).

Após a colheita dos frutos ocorre decréscimo nos teores de K e Zn, sendo importante a reposição via solo visando a produção do próximo ano. A ordem dos macronutrientes no período da floração plena foi a seguinte: $N > K > P > Mg > Ca > S$ e a dos micronutrientes foi: $Fe > Mn > Zn > Cu > B$. Durante os estádios de fruto maduro (em ponto de colheita), 40 dias após a colheita e período vegetativo, para macronutrientes foi: $N > K > Mg > Ca > P > S$ e micronutrientes: $Mn > Fe > B > Zn > Cu$.

nas membranas radiculares que catalisam o transporte através da membrana, alguns dos transportadores de membrana plasmática parecem ser específicos para nutrientes (Rietra et al., 2017). O acúmulo de nutrientes é considerado como um processo contínuo durante o período de desenvolvimento e sua absorção depende dos nutrientes relacionados aquele determinado estágio (Cruz et al., 2019).

3.4 CONCLUSÕES

Os teores nutricionais foliares da licheira 'Bengal' variaram de acordo com os estádios fenológicos da cultura.

Os teores médios nas folhas, nas diferentes épocas de amostragem, seguiram a seguinte ordem em relação aos macronutrientes N>K>Mg>Ca>P>S e Mn>Fe>B>Zn>Cu para os micronutrientes.

REFERÊNCIAS

- CHANEY, R. L. Diagnostic practices to identify iron deficiency in higher plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 7, n. 1-5, p. 47-67, 1984.
- CRUZ, A. F.; ALMEIDA, G. M.; WADT, P. G. S.; PIRES, M. C.; RAMOS, M. L. G. Seasonal Variation of Plant Mineral Nutrition in Fruit Trees. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 62, e19180340, 2019.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- GRASSI FILHO, H.; SANTOS, C. H.; CRESTE, J. E. Diagnose foliar nas culturas da noz-macadâmia e da lichia. *In*: PRADO, R.M. **Nutrição de plantas: Diagnose foliar em frutíferas**, Jaboticabal: UNESP, 2012, p. 528-538.
- HAJARI, E.; NONYANE, D.; CRONJE, R. Sequence-related amplified polymorphism markers – a tool for litchi breeders in Africa. **South African Journal of Science**, Johannesburg, v. 116, n. 7/8, p. 1-6, 2020.
- IBGE. **CensoAgro 2017**. Disponível em: <
https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76324>. Acesso em 29. Mar. 2023.
- KOEN, T.J; DU PLESSIS, S.F. **Optimal leaf analysis norms for litchis**. Information Bulletin of the Institute for Tropical and Subtropical Crops 248, 1993, p. 19-21.
- KOTUR, S.C.; MURTHY, S.V.K. Nutrient dynamics of annual growth-flush in mango (*Mangifera indica* L.). **Journal of Horticultural Sciences**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 75-77, 2010.
- LEDERMAN, I. E.; SILVA JUNIOR, J.F.; SACRAMENTO, C.K.; CARVALHO, J.E.U.; YAMANISHI, O.K. Frutas exóticas potenciais. p.437-460. *In*: ALBUQUERQUE, A. C. S.; DA SILVA, A. G. (Org.). **Agricultura Tropical – Quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. 1ª. Ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, 2008, p. 437-460.
- LI, Y.; HAN, M.-Q.; LIN, F.; TEN, Y.; LIN, J.; ZHU, D.-H.; GUO, P.; WENG, Y.-B.; CHEN, L. S. Soil chemical properties, 'Guanximiyou' pummelo leaf mineral nutrient status and fruit quality in the southern region of Fujian province, China. **Journal of soil science and plant nutrition**, [s. l.], v. 15, n. 3, p. 615-628, 2015.
- LUO, D., WANG, W., BAI, C., ZHU, L., LI, H., ZHOU, C., QIU, Q., YAO, L. Foliar nutrient diagnosis norms for litchi (*Litchi chinensis* Sonn. cv. Feizixiao) in South China, **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 45, n. 20, p. 3174-3187, 2021.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997, p. 319.

MELLADO-VÁZQUEZ, A.; SALAZAR-GARCÍA, GOENAGA, R.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, A. Survey of fruit nutrient removal by mango (*Mangifera indica* L.) cultivars for the export market in various producing regions of Mexico. **Terra Latinoamericana**, [s. l.], v. 37, p. 437-447, 2019.

MENZEL, C. M.; AITKEN, R. L.; DOWLING, A. W.; SIMPSON, D. R. Root distribution of lychee trees growing in acid soils of subtropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 30, p. 699-705, 1990.

MENZEL, C.M.; CARSELDINE, M.L.; HAYDON, G.F.; SIMPSON, D.R. A review of existing and proposed new leaf nutrient standards for lychee. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 49, p. 33-53, 1992.

MENZEL, C. M.; SIMPSON, D. R. Lychee nutrition: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 31, p. 195-224, 1987.

MENZEL, C. Major pests and diseases. *In*: MENZEL, C. (ed.). **The lychee crop in Asia and the Pacific**. FAO, 2002, p. 74-83.

MENZEL, C. **Plant nutrition and fertilizing. Litchi and Longan: Botany, Production, and Uses**. 2005, p. 209-236.

NAKASONE, H. K; PAULL, R. E. Litchi, logan and rambutan. *In*: Nakasone, H. K; Paull, R. E. **Tropical Fruits**. CAB International, Wallingford, 1998, p. 173-206.

PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M. G.; COVRE, A. M.; VIEIRA, H. D.; DIAS, J. R. M.; BRAUN, H. Nutritional standards and nutritional diagnosis of the Conilon coffee plants in phenological growth stages, **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 41, n. 19, p. 2536-2546, 2018.

PETTIGREW, W. T. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 133, p. 670-81, 2008.

RAIJ, B. V; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo** (Boletim Técnico, 100). 2.ed. Campinas: Fundação IAC, 1997, p. 285.

RIETRA, R. P. J. J.; HEINEN, M.; DIMKPA, C. O.; BINDRABAN, P. S. Effects of Nutrient Antagonism and Synergism on Yield and Fertilizer Use Efficiency. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 48, n. 16, p. 1895-1920, 2017.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; DE OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5 ed.; Embrapa: Brasília, Brasil, 2018; 356p, Available online: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>.

SAVITA, B.; SRIVASTAVA, P. C.; SINGH, S.; GANGOLA, P. Foliar Diagnostic Norms for Litchi (*Litchi chinensis* Sonn) in Lower Himalayas. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 500-509, 2020.

SHEN, C.; LI, Y.; WANG, J.; AL SHOFFE, Y.; DONG, C.; SHEN, Q.; XU, Y. Potassium influences expression of key genes involved in sorbitol metabolism and its assimilation in pear leaf and fruit. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 37, p. 883-895, 2018.

SILVA, V. E.; TADAYOZZI, Y. S.; PUTTI, F. F.; SANTOS, F. A.; FORTI, J. C. Degradation of commercial glyphosate-based herbicide via advanced oxidative processes in aqueous media and phytotoxicity evaluation using maize seeds. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 840, p. 156656, 2022.

SINGH, J.; SINGH, N. P.; SANGWAN, A. K.; GILL, P. S.; GILL, B. S.; KAUR, S.; SINGH, N.; SINGH, D.; SINGH, S. Standardization of Litchi Leaf Nutrient Composition for Tissue Analysis in Sub Tropics of India. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 50, n. 22, p. 2889-2898, 2019.

SINGH, A.; PANDEY, S. D.; NATH, V. **The World Litchi Cultivars**. Technical Bulletin 007 NRC for Litchi, Mushahari, Muzaffarpur, 2012, p. 1-65.

SINGH, N.; GILL, P. P. S.; SINGH, S.; SANGWAN, A. K.; GILL, B. S. Effect of leaf position on nutrients composition in Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). **Progressive Horticulture**, Chaubattia, v. 49, n. 2, 2017.

XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. **Frontiers in Plant Science**, [s. l.], v. 11, n. 904, p. 1-13, 2020.

YANG, B.M.; YAO, L.X.; LI, G.L.; HE, Z.H.; ZHOU, C.M. Dynamic changes of nutrition in litchi foliar and effects of potassium-nitrogen fertilization ratio. **Journal of soil science and plant nutrition**, [s. l.], v. 15, n. 1, p. 98-110, 2015.

YAO, L., BAI, C., LUO, D. Diagnosis and management of nutrient constraints in litchi. **Fruit Crops**, [s. l.], p. 661-679, 2020.

YENER, H.; ALTUNTAŞ, Ö. Effects of potassium fertilization on leaf nutrient content and quality attributes of sweet cherry fruits (*Prunus Avium* L.). **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 44, n. 7, p. 946-957, 2021.

YI, Q.; LI, G.; TANG, S.; HUANG, X.; PANG, Y.; ZHANG, M. Characteristics and Validation of a Recommended Fertilization Approach for Lychee Based on Yield Response and Agronomic Efficiency. **Horticultural Science and Technology**, [s. l.], v. 40, n. 4, p. 361-375, 2022.

YONG, H. L.; WEI, J. W.; HO, M. Verification of nutrients standards for diagnosis of Yuhebao lychee (*Litchi chinensis* Sonn.). **Journal of Soil Science and Environmental Management**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 17-22, 2022.

CAPÍTULO 4

PROSPECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL DE CASCAS, SEMENTES E FOLHAS *Litchi chinensis* Sonn.

RESUMO

Durante o processamento de vegetais e frutas, pode ser produzido um desperdício de 25 a 30% do produto total, sendo as cascas, bagaços e sementes os resíduos mais comuns. Estes materiais podem ser ricos em compostos naturais biologicamente ativos, caracterizados como subprodutos. Os óleos essenciais extraídos de plantas podem demonstrar atividade biológica contra um significativo número de patógenos, atividade antioxidante ou ação inseticida. Objetivou-se extrair e identificar as substâncias presentes no óleo essencial de folhas, casca e semente de lichia 'Bengal'. Folhas e frutos de *Litchi chinensis* Sonn. foram coletados em pomar localizado na Fazenda Experimental São Manuel, Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA UNESP). A extração do óleo essencial foi realizada por arraste a vapor, no aparato tipo clewenger. Foram colocados 100 g de material vegetal triturado, em 1 L de água destilada. Na análise qualitativa da composição química do óleo essencial foi utilizado cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas. As análises qualitativas e quantitativas da composição química e o rendimento de óleo essencial foram em triplicatas. A semente de lichia apresenta menor porcentagem de rendimento de óleo essencial que a casca e a folha. Na avaliação da composição química do óleo essencial de lichia 'Bengal', foram identificados 22 compostos na folha, 18 na casca e 20 na semente. O γ -himachaleo foi o mais abundante no óleo essencial da folha, casca e semente, com 30,36%, 51,85% e 39,95% respectivamente. Também foi encontrado em maior abundância o (*E*)-cariofileno, com 25,47% nas folhas, 10,17% na casca e 14,55% na semente. O óleo essencial de lichia (folha, casca e sementes) tem compostos com potencial para serem utilizados em diferentes seguimentos da indústria.

PALAVRAS-CHAVE: Sesquiterpenos; agricultura sustentável; resíduos de lichia.

ABSTRACT

During the processing of vegetables and fruits, 25-30% of the total product can be wasted, with peels, pomace and seeds being the most common waste. These materials can be rich in biologically active natural compounds, characterized as by-products. Essential oils extracted from plants may demonstrate biological activity against a significant number of pathogens, antioxidant activity or insecticidal action. We aimed to extract and identify the substances present in the essential oil of leaves, bark and seed of lychee 'Bengal'. Leaves and fruits of *Litchi chinensis* Sonn. were collected from an orchard located in the Experimental Farm São Manuel, School of Agriculture (FCA UNESP). The essential oil was extracted by steam extraction using a cleverger apparatus. 100 g of crushed plant material was placed in 1 L of distilled water. For the qualitative analysis of the chemical composition of the essential oil, a gas chromatograph coupled to a mass spectrometer was used. The qualitative and quantitative analyses of the chemical composition and the essential oil yield were in triplicates. Lychee seed shows lower percentage of essential oil yield than bark and leaf. In the evaluation of the chemical composition of lychee 'Bengal' essential oil, 22 compounds were identified in the leaf, 18 in the bark and 20 in the seed. γ -himachaleo was the most abundant in the essential oil of the leaf, bark and seed, with 30.36%, 51.85% and 39.95% respectively. (E)-caryophyllene was also found in higher abundance, with 25.47% in the leaves, 10.17% in the bark and 14.55% in the seed. The essential oil of lychee (leaf, bark and seeds) has compounds with potential to be used in different segments of the industry.

KEY WORDS: Sesquiterpenes; sustainable agriculture; lychee waste.

4.1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento de resíduos de hortaliças e de frutas é por vários motivos desafiador, seja por infraestrutura e tecnologias locais, que é bastante variável, além da natureza perecível e heterogeneidade dos materiais (Esparza et al., 2020).

A lichia (*Litchi chinensis* Sonn.) é uma frutífera da família Sapindaceae que contém mais de 150 gêneros e aproximadamente 2000 espécies, com plantas

distribuídas em clima tropical e subtropical (Lora; Pham; Hormaza, 2018). No gênero *Litchi* tem-se três subespécies, sendo a principal cultivada comercialmente a *Litchi chinensis* ssp. *chinensis* (Leenhouts, 1978; Tindall, 1994).

Devido ao curto período de colheita e natureza perecível da lichia em temperatura ambiente (Le et al., 2019; Jiang et al., 2006), grandes quantidades são desperdiçadas. Além disso, a lichia pode ter baixo rendimento de polpa e sementes que podem ter de 1 a 3,3 cm de comprimento e 0,6 a 1,2 cm de largura (Punia; Kumar, 2021). No processamento para indústria, principalmente para enlatados e polpa congelada, a casca e semente são descartadas, podendo ser um problema no gerenciamento de resíduos (Bangar et al., 2021).

Durante o processamento de vegetais e de frutas, pode ser produzido um desperdício de 25 a 30% do produto total. Estes materiais podem ser utilizados como matéria prima para processamento como subproduto e além disso, são ricos em compostos naturais biologicamente ativos, como por exemplo, enzimas, carotenoides, óleos, polifenóis e vitaminas (Hussain et al., 2022; Kumar et al., 2020).

Os óleos essenciais extraídos de plantas podem demonstrar atividade biológica contra um significativo número de patógenos fitopatogênicos (Zaker, 2016). Além disso, têm a possibilidade de uso como inseticidas para controle de uma ampla gama de insetos praga, pois possuem toxicidade, dissuasão e/ou repelência (Isman; Miresmailli; Machial, 2011).

Estudos mostram que alguns óleos essenciais tem capacidade antimutagênica, que pode estar ligado a atividade anticarcinogênica (Angelini et al., 2018), antimicrobiana (Trong et al., 2020) e atividade antioxidante (Radünz et al., 2018).

Estes compostos acumulam-se em vários órgãos da planta, principalmente em pétalas, sementes, raízes, casca e madeira (Butnariu, 2021); e seu rendimento e composição são influenciados pela interação genótipo-ambiente, química e características microbiológicas do solo (Noroozisharaf; Kaviani, 2018). O mesmo genótipo pode apresentar produção diferencial de óleo essencial, dependendo do ambiente que é encontrado (Marques et al., 2019).

Os compostos identificados presentes em maior quantidade no óleo essencial de casca de lichia tem atividade antimicrobiana (Rawat et al., 2017). Outros estudos foram realizados com óleo essencial das folhas de lichieira, onde foram identificados aproximadamente 20 compostos, com variações entre folhas jovens e mais velhas (Wang et al., 2013).

São muitas as possibilidades de uso, porém ainda são necessários estudos de prospecção com óleo essencial extraídos de diferentes partes da lichia, em diferentes cultivares e regiões de cultivo, o que possibilita achar as variações.

Diante disso, objetivou-se extrair e identificar as substâncias presentes no óleo essencial de folhas, casca e semente para possível uso como subproduto da lichia 'Bengal' cultivada em condição subtropical no estado de São Paulo, Brasil.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Material vegetal e caracterização da área

Folhas e frutos de *Litchi chinensis* Sonn., foram coletados em pomar localizado na Fazenda Experimental São Manuel, Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista (FCA UNESP), situada a 22°46' S e 48°34' O, com 740 m de altitude, no município de São Manuel, São Paulo, Brasil. O solo da área é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico, textura arenosa (SANTOS et al., 2018). O clima no local (critérios adotados por Koppen) é do tipo Cfa (clima temperado quente), mesotérmico com chuvas concentradas no verão, com média anual de 1.376,70 mm (Cunha; Martins, 2009).

Em plantas de lichieira 'Bengal' com 11 anos de idade, foram coletados o segundo e terceiro par de folíolos novos de ramos em estágio vegetativo (maio). Os frutos para retirada da casca e semente foram coletados com coloração 100% vermelho-claro (dezembro). Os materiais foram lavados com água destilada e posteriormente secos em estufa de circulação de ar forçado a 38°C ± 2°C, durante dois dias. Após a secagem, os materiais utilizados no estudo (folha, casca e semente) foram triturados em moinho de facas.

4.2.2 Extração do óleo essencial

A etapa de extração do óleo essencial foi realizada por arraste a vapor no Laboratório de Plantas Medicinais, Departamento de Produção Vegetal-UNESP.

Foi utilizado o aparato tipo clewenger adaptado a um balão de fundo redondo com capacidade de 2 L e manta aquecedora. Foram colocados 100 g de material vegetal triturado, em 1 L de água destilada, e o óleo essencial extraído por 120

minutos. Após a separação das fases, o óleo essencial extraído foi armazenado em frasco de vidro âmbar e armazenado à baixa temperatura.

4.2.3 Análise da composição química do óleo essencial

As análises da composição química do óleo essencial foram realizadas no laboratório do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Recursos Genéticos Vegetais, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Na análise qualitativa foi com auxílio de cromatógrafo a gás acoplado ao espectrômetro de massas (CG-EM, TRACE 1300, Thermo Scientific) com coluna capilar TR-5 MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), foi utilizado o hélio (99,9999% de pureza) como gás de arraste (vazão de 1,0 mL.min⁻¹). O sistema foi operado no modo *full scan*, com impacto de elétrons (70 eV), e faixa de 40 a 450 m/z. O injetor foi mantido a 220°C, com divisão de vazão do gás de arraste (*split*) na razão de 1:20, seguindo a programação da temperatura de 60°C - 240°C (3°C min⁻¹). A temperatura da interface mantida em 240 °C. Foi injetado 1 µL de solução obtida da diluição das amostras de óleo essencial em acetato de etila (1 mg mL⁻¹).

A análise quantitativa dos óleos essenciais foi realizada em cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama (CG-DIC, TRACE 1300, Thermo Scientific), com coluna capilar de sílica fundida TR - 5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm), e utilizado o hélio (99,9999% de pureza) como gás de arraste (vazão de 1,0 mL min⁻¹). O injetor foi mantido a 220°C e o detector a 300°C. A divisão de arraste foi na razão 1:20 e foi utilizado o mesmo programa de temperatura do sistema CG-EM (Facanali et al., 2020; Gimenes et al., 2021).

A identificação dos constituintes químicos do óleo essencial de lichia 'Bengal' foi efetuada por meio da análise comparativa dos espectros de massas das substâncias com a biblioteca *National Institute of Standards and Technology* (NIST) e os índices de retenção linear das substâncias foi de acordo com Adams (2017).

Os índices de retenção linear (IRL) calculados foram obtidos a partir da injeção da mistura de *n*-alcanos (C₉-C₂₄, Sigma USA) nas mesmas condições cromatográficas das amostras, aplicando-se a equação de Van Den Dool e Kratz (1963):

$$LTPRI = 100n + 100 \frac{t_{R(i)} - t_{R(n)}}{t_{R(n+1)} - t_{R(n)}} \quad (1)$$

4.2.4 Rendimento de óleo essencial

O rendimento foi determinado com base em 100 gramas de massa seca de material vegetal seguindo a formula abaixo:

$$\text{Rendimento de óleo (\%)} = \frac{\text{Massa óleo (g)}}{\text{Massa seca (g)}} \times 100 \quad (2)$$

4.2.5 Análise estatística

As análises qualitativas e quantitativas da composição química e a extração de óleo essencial foram feitos em triplicatas. Foi inicialmente realizada a normalidade dos dados pelo teste de Anderson-Darling, verificação da homocedasticidade por meio do teste Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância, com nível de significância de 5% de probabilidade de erro. Quando significativas, as médias do rendimento de óleo essencial foram submetidas ao teste Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando-se o programa estatístico Rbio (Bhering, 2017). A composição química do óleo essencial foi submetida a análise multivariada com auxílio da plataforma estatística MetaboAnalyst 5.0 (Xia et al., 2015), para melhor visualização da variabilidade entre os três tipos de óleos essenciais de lichia obtidos das folhas, casca e sementes.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar o rendimento de óleo essencial, verificou-se diferença significativa entre a porcentagem de óleo essencial extraído. A semente de lichia 'Bengal' apresenta menor porcentagem de rendimento de óleo essencial que a casca e a folha (Tabela 1).

Tabela 1 – Rendimento de óleo essencial de lichia ‘Bengal’

Material	Rendimento de óleo essencial (%)
Casca	0,1874 a
Folha	0,1734 a
Semente	0,0321 b
CV (%): 18,11	

CV: Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$).

Na avaliação da composição química do óleo essencial de lichia ‘Bengal’, foram identificados 22 compostos na folha, 18 na casca e 20 na semente, sendo em maior abundância a classe de sesquiterpenos (Tabela 2).

Os sesquiterpenóides são um grupo extremamente amplo de metabólitos especializados encontrados em plantas, com 15 átomos de carbono e grande variedade de estruturas químicas (Francomano et al., 2019).

Tabela 2 – Composição química (%) dos óleos essenciais de folha, casca e semente de lichia ‘Bengal’

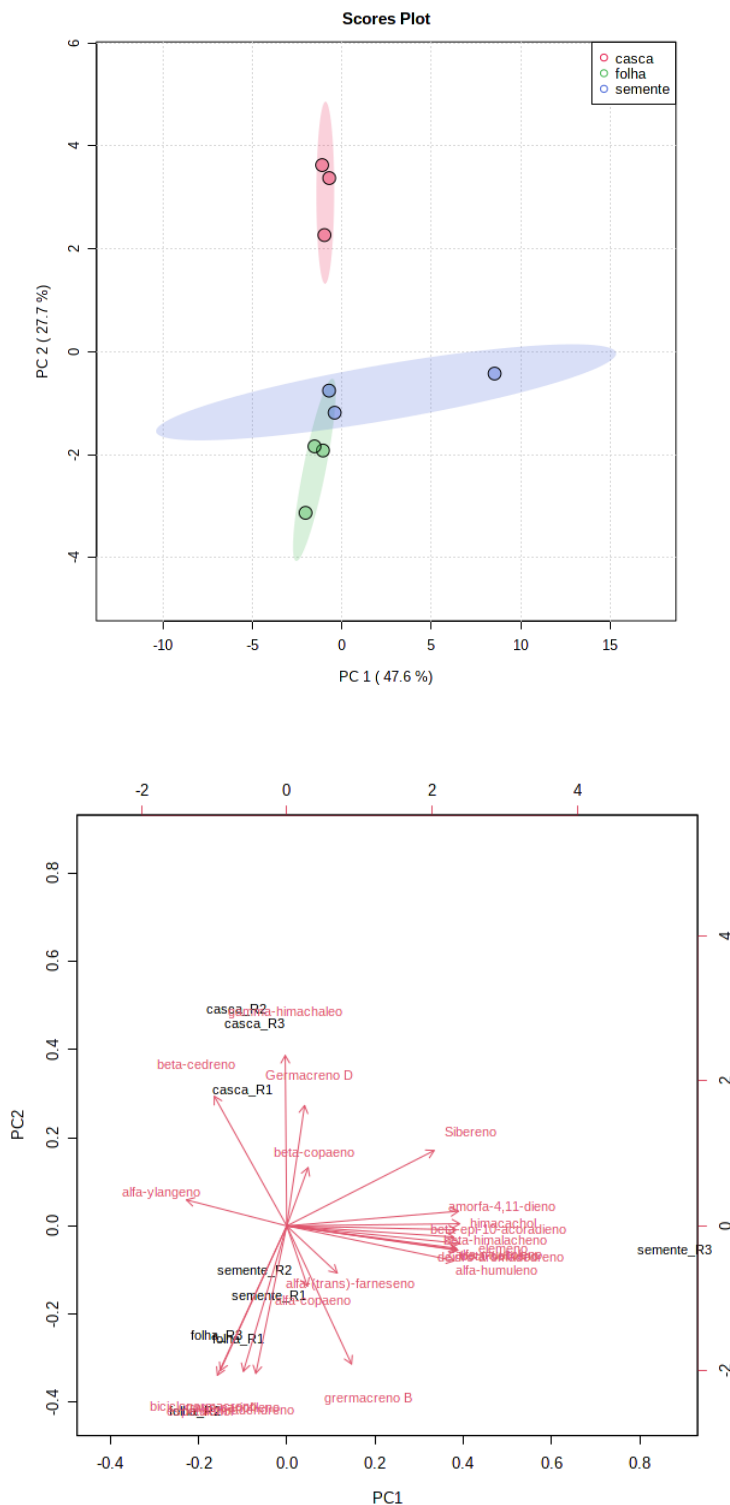
	IRL*	Substância	Composição (%)		
			Folha	Casca	Semente
1	1370	α -ylangeno	0,88	0,75	-
2	1377	α -copaeno	0,80	0,65	0,77
3	1390	Elemeno	0,47	-	1,75
4	1404	Sibireno	0,56	1,06	0,55
5	1421	(<i>E</i>)-cariofileno	25,47	10,17	14,55
6	1425	β -cedreno	0,41	0,78	-
7	1431	β -copaeno	0,89	0,64	0,66
8	1440	aromadendreno	0,72	-	0,56
9	1451	amorfa-4,11-dieno	1,04	2,20	1,77
10	1456	α -humuleno	7,15	2,67	4,16
11	1461	deidro-aromadedreno	2,56	1,20	2,56
12	1476	β -epi-10-acoradieno	2,32	2,34	1,95
13	1481	germacreno D	0,55	1,97	1,17
14	1484	γ -himachaleno	30,36	51,85	39,95
15	1490	β -selineno	0,86	-	1,67
16	1496	biciclogermacreno	12,29	0,07	6,50
17	1499	α -muuroleno	1,95	1,43	2,28
18	1501	β -himachaleno	0,44	0,89	0,35
19	1507	α -(<i>E,E</i>)-farneseno	0,88	0,76	0,82
20	1560	germacreno B	0,86	0,48	1,22
21	1578	espatulenol	3,03	-	1,70
22	1655	Himachalol	1,76	4,15	4,61
Total identificado			96,23	84,06	89,58

*IRL: Índice de Retenção Linear calculado.

A análise de componentes principais permitiu observar-se que o PC1 demonstrou 47,6% da variação total e o PC2 contando com uma representatividade de 27,7%, a separação dos componentes do óleo essencial da casca dos demais.

Houve semelhança do perfil químico do óleo essencial da folha e de semente em relação aos compostos identificados (Figura 1).

Figura 1 – Plotagem de pontuações e PCA biplot entre os componentes principais em função da composição química do óleo essencial de folha, casca de fruto e semente de lichia ‘Bengal’



No óleo essencial da folha da lichieira foram identificados em maior abundância o γ -himachaleno (30,36%), (*E*)-cariofileno (25,47%), biciclogermacreno (12,29%) e α -humuleno (7,15%). No óleo extraído da casca os compostos em maior concentração foram o γ -himachaleno (51,85%), (*E*)-cariofileno (10,17%) e himachalol (4,15%). Os compostos mais abundantes no óleo essencial da semente foram o γ -himachaleno (39,95%), (*E*)-cariofileno (14,55%) biciclogermacreno (6,50%) e o himachalol (4,61%) (Tabela 2).

O (*E*)-cariofileno é um sesquiterpeno constituinte comum nos óleos essenciais de numerosas plantas de especiarias e alimentos (Gertsch et al., 2008). A natureza farmacológica ampla permite que o (*E*)-cariofileno exerça múltiplas atividades, apresentando propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticonvulsivantes, analgésicas e neuroprotetoras e aplicações terapêuticas (Alonso et al., 2022; Gertsch et al., 2008; Sharma et al., 2016). Sendo este composto já aprovado pela Food and Drug Administration (FDA) e pela European Food Safety Authority (EFSA) para utilização em alimentos e cosméticos (Francomano et al., 2019).

Em estudo realizado por Cavalcanti et al. (2010), foi relatado que compostos presentes no óleo essencial de *Lippia sidoides*, entre eles o β -cariofileno, atuam sinergicamente para atingir a ação acaricida (Cavalcanti et al., 2010). No (*E*)-cariofileno também foi identificada atividade antimicobacteriana, assim como nos compostos α -humuleno e germacreno D (Julião et al., 2019), compostos estes também encontrados em folhas, casca e sementes de lichia, como observado neste estudo.

Outro composto identificado, o himachaleno, que representou de 51,85% na casca dos frutos da lichia e também com alta porcentagem nas sementes (39,95%) e folhas (30,36%), tem alta a atividade antibacteriana (Chen et al., 2011; Sanad et al., 2022).

A utilização de resíduos como cascas e sementes para extração de óleo essencial é interessante para agregar valor e aproveitar uma matéria prima que seria descartada. Além disso, destaca-se a importância das estratégias a serem adotadas pela indústria, visando a utilização das sementes e casca durante o processamento da lichia, a fim de melhorar a viabilidade econômica (Punia; Kumar, 2021).

4.4 CONCLUSÕES

Baseado neste estudo, o óleo essencial de folhas, casca e sementes de lichia tem compostos com potencial para serem utilizados em diferentes seguimentos da indústria. Uma demanda atual é a utilização de manejos e/ou técnicas sustentáveis na agricultura, por isso, fazem-se necessários estudos *in vitro* para avaliar o potencial de controle de patógenos e pragas de importância econômica, como a funcionalidade de possíveis subprodutos como mostra o óleo essencial de lichia.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, C.; SATTA, V.; DÍEZ-GUTIÉRREZ, P.; FERNÁNDEZ-RUIZ, J.; SAGREDO, O. Preclinical investigation of β -caryophyllene as a therapeutic agent in an experimental murine model of Dravet syndrome. **Neuropharmacology**, Oxford, v. 205, n. 1, p. 108914, mar. 2022.
- ANGELINI, P.; TIRILLINI, B.; AKHTAR, M. S.; DIMITRIU, L.; BRICCHI, E.; BERTUZZI, G.; VENANZONI, R. Essential oil with anticancer activity: An overview. In: AKHTAR, M.; SWAMY, M. (eds), **Anticancer plants: Natural products and biotechnological implements**. Singapore: Springer, 2018. p. 207-231.
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. Carol Stream, IL: Allured publishing corporation, 2017, p. 1-809.
- BANGAR, S. P.; KUMAR, M.; WHITESIDE, W. S.; TOMAR, M.; KENNEDY, J. F. Litchi (*Litchi chinensis*) seed starch: Structure, properties, and applications-A review. **Carbohydrate Polymer Technologies and Applications**, [s. l.], v. 2, p. 100080, dec. 2021.
- BHERING, L. L. Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, [s. l.], v. 17, p. 187-190, 2017.
- BUTNARIU, M. Plants as Source of Essential Oils and Perfumery Applications. In: UPADHYAY, S. K.; S; SINGH, S. P. **Bioprospecting of Plant Biodiversity for Industrial Molecules**. John Wiley & Sons Ltd., 2021. cap. 13, p. 261-292.
- CAVALCANTI, S. C. H.; NICULAU, E. DOS S.; BLANK, A. F.; CÂMARA, C. A. G.; ARAÚJO, I. N.; ALVES, P. B. Composition and acaricidal activity of *Lippia sidoides* essential oil against two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae* Koch). **Bioresource Technology**, Essex, v. 101, n. 2, p. 829-832, jan. 2010.
- CHEN, X.; ZHANG, Y.; ZU, Y.; FU, Y.; WANG, W. Composition and biological activities of the essential oil from *Schisandra chinensis* obtained by solvent-free microwave extraction. **LWT- Food Science and Technology**, [s. l.] v. 44, n. 10, p. 2047-2052, dec, 2011.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2009.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- ESPARZA, I.; JIMÉNEZ-MORENO, N.; BIMBELA, F., ANCÍN-AZPILICUETA, C.; GANDÍA, L. M. Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. **Journal of Environmental Management**, London, v. 265, p. 110510, 2020.

FACANALI, R.; MARQUES, M. O. M.; HANTAO, L. W. Metabolic profiling of *Varronia curassavica* Jacq. Terpenoids by flow modulated two-dimensional gas chromatography coupled to mass spectrometry. **Separations**, [s. l.], v. 7, n. 18, p. 1-17, 2020.

FRANCOMANO, F.; CARUSO, A.; BARBAROSSA, A.; FAZIO, A.; LA TORRE, C.; CERAMELLA, J.; MALLAMACI, R.; SATURNINO, C.; IACOPETTA, D.; SINICROPI, M.S. β -caryophyllene: A sesquiterpene with countless biological properties. **Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 24, p. 5420, dec. 2019.

GERTSCH, J.; LEONTI, M.; RADUNER, S.; RACZ, I.; CHEN, J. Z.; XIE, X. Q.; ALTMANN, K. H.; KARSAK, M.; ZIMMER A. Beta-caryophyllene is a dietary cannabinoid. **Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s. l.], v. 105, n. 26, p. 9099-9104, jul. 2008.

GIMENES, L.; SILVA, J. C. R. L.; FACANALI, R.; HANTAO, L. W.; SIQUEIRA, W. J.; MARQUES, M. O. M. Essential Oils of New *Lippia alba* Genotypes Analyzed by Flow-Modulated Comprehensive Two-Dimensional Gas Chromatography (GC \times GC) and Chemometric Analysis. **Molecules**, [s. l.], v. 26, n. 2332, apr. 2021.

HUSSAIN, H.; MAMADALIEVA, N. Z.; HUSSAIN, A.; HASSAN, U.; RABNAWAZ, A.; AHMED, I.; GREEN, I. R. Fruit Peels: Food Waste as a Valuable Source of Bioactive Natural Products for Drug Discovery. **Current Issues in Molecular Biology**, [s. l.], v. 44, n. 5, p. 1960-1994, apr. 2022.

JIANG, Y. M.; WANG, Y.; SONG, L.; LIU, H.; LICHTER, A.; KERDCHOECHUEN, O.; JOYCE, D. C.; SHI, J. Postharvest characteristics and handling of litchi fruit-an overview. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 46, n. 12, p. 1541-1556, 2006.

JULIÃO, L. DE S.; BIZZO, H. R.; SOUZA, A. M.; LOURENÇO, M. C.; SILVA, P. E.; TAVARES, E. S.; RASTRELLI, L.; LEITÃO, S. G. Essential oils from two Lantana species with antimycobacterial activity. **Natural product communications**, [s. l.], v. 4, n. 12, p. 1733-1736, dec. 2009.

LE, L. M.; NGUYEN, T. C.; PHAM, B. T.; LY, H. -B.; LE, V. M.; LE, T. -T. Development and Identification of Working Parameters for a Lychee Peeling Machine Combining Rollers and a Pressing Belt. **AgriEngineering**, [s. l.], v.1, n. 4, p. 550-566, 2019.

LEENHOUTS, P. W. Systematic notes on the Sapindaceae-Nephelieae. **Blumea**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 395-403, 1978.

LORA, J.; PHAM, V. T.; HORMAZA, J. I. Genetics and Breeding of Fruit Crops in the Sapindaceae Family: Lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) and Longan (*Dimocarpus longan* Lour.). IN: AL-KHAYRI, J. M., et al. (eds.), **Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits**, 2018, p. 953-973.

- PANG, Z.; CHONG, J.; ZHOU, G.; MORAIS, D. A. L.; CHANG, L.; BARRETTE, M.; GAUTHIER, C.; JACQUES, P. E.; LI, S.; XIA, J. MetaboAnalyst 5.0: narrowing the gap between raw spectra and functional insights. **Nucleic Acids Research**, Oxford, v. 49, n. 1, p. 388-396, 2021.
- PUNIA, S.; KUMAR, M. Litchi (*Litchi chinensis*) seed: Nutritional profile, bioactivities, and its industrial applications. **Trends in Food Science and Technology**, Cambridge, v. 108, 58-70, feb. 2021.
- RADÜNZ, M.; DA TRINDADE, M. L. M.; CAMARGO, T. M.; RADÜNZ, A. L.; BORGES, C. D.; GANDRA, E. A.; HELBIG, E. Antimicrobial and antioxidant activity of unencapsulated and encapsulated clove (*Syzygium aromaticum*, L.) essential oil. **Food Chemistry**, London, v. 276, p. 180-186, 2018.
- RAWAT, P.; AZAD, A.; KUMAR, A.; SINGH, T. D.; MAHESH PAL, M. A Comparative Study of Chemical Constituents and Antimicrobial Activity of Essential Oil of *Litchi chinensis* Growing in Different Geographical Areas of India. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, [s. l.], v. 20, n. 6, p. 1627-1632, 2017.
- RENCHER, A. C.; CHRISTENSEN, W. F. Methods of Multivariate Analysis, 3rd ed. J. Wiley, New York, p. 758, 2012.
- SANAD, H.; BELATTMANIA, Z.; NAFIS, A.; HASSOUANI, M.; MAZOIR, N.; REANI, A.; HASSANI, L.; VASCONCELOS, V.; SABOUR, B. Chemical Composition and In Vitro Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Marine Cyanolichen Lichina pygmaea Volatile Compounds. **Marine Drugs**, [s. l.], v. 20, n. 169, 2022.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; DE ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; DE OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T.J.F. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 5 ed.; Embrapa: Brasília, Brasil, 2018; 356p, Available online: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>.
- SHARMA, C.; AL KAABI, J. M.; NURULAIN, S. M.; GOYAL, S. N.; KAMAL, M. A.; OJHA S. Polypharmacological properties and therapeutic potential of β -caryophyllene: a dietary phytocannabinoid of pharmaceutical promise. **Current pharmaceutical design**, San Francisco, v. 22, p. 3237-3264, 2016.
- TINDALL, H. D. Sapindaceous fruits: botany and horticulture. **Horticultural Reviews**, New York, v. 16, p. 143-195, 1994.
- TRONG, L. N.; VIET, H. D.; QUOC, D. T.; TUAN, L. A.; RAAL, A.; USAI, D.; MADEDDU, S.; MARCHETTI, M.; USAI, M.; RAPPELLI, P.; DIAZ, N.; ZANETTI, S.; THI NGUYEN, H.; CAPPUCCINELLI, P.; DONADU, M. G. In Vitro Antimicrobial Activity of Essential Oil Extracted from Leaves of *Leoeo domatiophorus* Chaowasku, D.T. Ngo and H.T. Le in Vietnam. **Plants**, [s. l.], v. 9, n. 453, p. 1-14, apr. 2020.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Jornal Chromatography**, [s. l.] v. 11, p. 463-471, 1963.

ZAKER, M. Natural Plant Products as Eco-friendly Fungicides for Plant Diseases Control- A Review. **The Agriculturists**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 134-141, 2016.

WANG, Y. J.; ZHAO, D. X.; GAO, J. L.; PENG, Z. Q. Volatile Components of Litchi chinensis Sonn. Leaf Oil Extracts Obtained by Simultaneous Distillation Extraction. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, [s. l.], v. 16, n.2, p. 161-165, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A fenologia reprodutiva de lichieira 'Bengal' é influenciada pelas condições climáticas que ocorrem no local de cultivo, podendo variar entre 99 até 119 dias para completar um ciclo da antese até a maturação completa do fruto.

A emissão de brotações de forma tardia influencia no surgimento de panículas e pode inviabilizar a produção de frutos durante a safra.

O estágio ideal de colheita dos frutos de lichieira 'Bengal' nas condições climáticas de São Manuel-SP pode variar de 95 até 113 dias após a antese, ou de 21 até 28 dias após o início de mudança de coloração de verde para vermelho na casca, essa variação é causada pela época da florada, que pode ser entre agosto e setembro.

Quanto mais verde os frutos, maiores as concentrações de flavonoides, compostos fenólicos e da atividade antioxidante na casca e na polpa e quanto mais maduros, com aumento da coloração vermelha na casca, maior a concentração de ácido ascórbico na polpa.

Os teores nutricionais foliares da lichieira 'Bengal' variaram de acordo com os estádios fenológicos da cultura e podem ser influenciados por variações climáticas. Os principais nutrientes demandados pela cultura da lichieira são o nitrogênio, potássio e magnésio. Após a colheita dos frutos, tem decréscimo de potássio, é importante realizar a reposição via solo neste período, pois esse decréscimo pode influenciar na produção de frutos da próxima safra.

Os resíduos de lichia como casca e sementes tem grande potencial para serem utilizados pela indústria para extração de óleo essencial. Constatou-se que na composição do óleo tem compostos com potencial para serem utilizados em diferentes seguimentos da indústria. Ainda são necessários estudos *in vitro* para avaliar o potencial de controle de patógenos e pragas de importância econômica, na busca por produtos sustentáveis é uma demanda de mercado.

REFERÊNCIAS

BATTEN, J. D.; LAHAV, E. Base temperatures for growth processes of lychee, a recurrently flushing tree, are similar but optima differ. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v. 21, n.5, p. 589-602, 1994.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BOLAÑOS, A. E.; VELÁZQUEZ, C. R.; CÁRDENAZ, A.; SANTAMARÍA, I.; GÜEMES, V. N.; FUENTES, A.; MERCADO, E. S. Effect of storage temperature and time on quality in minimally processed litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn.). **Journal of Food Quality**, Wastport, v. 33, p. 299-311, 2010.

CASTELLAIN, R. C. L. et al. Chemical composition, anti-oxidant and antinociceptive properties of *Litchi chinensis* leaves. **Journal of Pharmacy and Pharmacology**, London, v. 66, p. 1796-1807, 2014.

EL YAACOUBI, A.; MALAGI, G.; OUKABLI, A.; HAFIDI, M.; LEGAVE, J. M. Global warming impact on floral phenology of fruit trees species in Mediterranean region. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 180, p. 243-253, 2014.

FERNANDES, F. M.; NASCIMENTO, V. M. Fertilidade do solo e nutrição de mangueira. In: ROZANE, D. E.; DAREZZO, R. J.; AGUIAR, R. L.; AGUILERA, G. H. A.; ZAMBOLIM, L. ed. **Manga – Produção integrada, industrialização e comercialização**. Viçosa: UFV, 2004, p.179-198.

IBGE. **CensoAgro 2017**. Disponível em: <
https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76324>. Acesso em 29. Jan. 2023.

JIANG, Y.; DUAN, X.; JOYCE, D.; ZHANG, Z.; LI, J. Advances in understanding of enzymatic browning in harvested litchi fruit. **Food Chemistry**, London, v. 88, n.3, p. 443-446, 2004.

JIANG, Y.; FU, J. Postharvest browning of litchi fruit by water loss and its prevention by controlled atmosphere storage at high relative humidity. **LWT-Food Science and Technology**, [s. l.] v. 32, p. 278–283, 1999.

JIANG, Y.; GAO, H.; ZHANG, M. Lychee (*Litchi*). In: SIDDIQ, M. **Tropical and Subtropical Fruits: Postharvest Physiology, Processing and Packaging**. 1ª ed. New Delhi: Wiley Blackwell, 2012, cap. 13, p. 241-258.

JIANG, Y. M.; WANG, Y.; SONG, L.; LIU, H.; LICHTER, A.; KERDCHOECHUEN, O.; JOYCE, D. C.; SHI, J. Postharvest characteristics and handling of litchi fruit-an overview. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Melbourne, v. 46, n. 12, p. 1541-1556, 2006.

ISMAN, M. B., MIRESMAILLI, S. E MACHIAL, C. Commercial opportunities for pesticides based on plant essential oils in agriculture, industry and consumer products. **Phytochemistry Reviews**, [s. l.], v. 10, p. 197-204, 2011.

KARUNA, K.; ADARSH, A.; SINGH, H. K.; MANKAR, A. Edible coating on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) for improvement of fruit quality and shelf life: a review. **Acta Horticulturae**, The Hague, v.1211, p. 145-152, 2018.

KOUL, B.; SINGH, J. **Lychee biology and biotechnology**. In: UPADHYAYA, D. C.; UPADHYAYA, C. P. Bioactive compounds and medicinal importance of *Litchi chinensis*. Bioactive Compounds and Medicinal Importance of *Litchi chinensis*. In: Kumar M., Kumar V., Prasad R., Varma A. (eds) *The Lychee Biotechnology*. Springer, 2017, p. 137-192.

KISKU, A. V.; PRASAD, S. C.; AGRAWAL, A.; KUMAR, D. Advances in Litchi Biotechnology: Achievements and Opportunities. In: KUMAR, M.; KUMAR, V.; PRASAD, R.; VARMA, A. (eds) **The Lychee Biotechnology**. Singapore: Springer, 2017. cap. 14, p. 363-379.

LE, L. M.; NGUYEN, T. C.; PHAM, B. T.; LY, H. -B.; LE, V. M.; LE, T. -T. Development and Identification of Working Parameters for a Lychee Peeling Machine Combining Rollers and a Pressing Belt. **AgriEngineering**, [s. l.], v.1, n. 4, p. 550-566, 2019.

LEENHOUTS, P. W. Systematic notes on the Sapindaceae-Nephelieae. **Blumea**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 395-403, 1978.

LI, C.; HAO, J.; ZHONG, H.; DANG, M.; XIE, B. Aroma components at various stages of litchi juice processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 89, n.14, p. 2405–2414, 2009.

LIU, W.; XIAO, Z.; BAO, X.; YANG, X.; FANG, J.; XIANG, X. Identifying Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) Cultivars and Their Genetic Relationships Using Single Nucleotide Polymorphism (SNP) Markers. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 10, n. 8, p. e0135390, 2015.

MENZEL, C. Major pests and diseases. In: MENZEL, C. (ed.), **The lychee crop in Asia and the Pacific**. FAO, 2002, p. 74-83.

MENZEL, C. M., CARSELDINE, M. L., HAYDON, G. F., SIMPSON, D. R. A review of existing and proposed new leaf nutrient standards for lychee. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 49, p. 33-53, 1992.

PERTILLE, R. H.; CITADIN, I.; OLIVEIRA, L. S.; BROCH, J. C.; KVITSCHAL, M. V.; ARAUJO, L. The influence of temperature on the phenology of apple trees grown in mild winter regions of Brazil, based on long-term records, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 305, n. 11, p. 111354, 2022.

QIAO, F.; HUANG, L.; XIA, W. A study on microwave vacuum dried re-structured lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) mixed with purple sweet potato (*Ipomoea batatas*) snacks. **Food and Bioproducts Processing**, Rugby, v. 90, n. 4, p. 653–658, 2012.

RAWAT, P.; AZAD, A.; KUMAR, A.; SINGH, T. D.; PAL, M. A Comparative Study of Chemical Constituents and Antimicrobial Activity of Essential Oil of Litchi chinensis Growing in Different Geographical Areas of India. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, [s. l.], v. 6, p. 1627-1632, 2017.

SAÚCO, V. G.; MENINI, U. G. **El litchi y su cultivo**. Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion (FAO), v. 83, 1987, p. 11-60.

SUN, J.; JIANG, Y.; SHI, J.; WEI, X.; XUE, S. J.; SHI, J.; YI, C. Anti-oxidant activities and contents of polyphenol oxidase substrates from pericarp tissues of litchi fruit. **Food Chemistry**, London, v. 119, p. 753-757, 2010.

TANG, R.; ZHOU, Y.; CHEN, Z.; WANG, L.; LAI, Y.; CHANG, S.K.; WANG, Y.; QU, H.; JIANG, Y.; HUANG, H. Regulation of browning and senescence of litchi fruit mediated by phenolics and energy status: a postharvest comparison on three different cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 168, p. 111280, oct. 2020.

TEIXEIRA, B.; MARQUES, A.; RAMOS, C.; NENG, N. R.; NOGUEIRA, J. M. F.; SARAIVA, J. A.; NUNES, M. L. Chemical composition and antibacterial and antioxidant properties of commercial essential oils. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 43, p. 587-595, 2013.

TINDALL, H. D. Sapindaceous fruits: botany and horticulture. **Horticultural Reviews**, New York, v. 16, p. 143-195, 1994.

WANG, H. C.; LAI, B.; HUANG, X. M. Litchi Fruit Set, Development, and Maturation. *In*: KUMAR, M.; KUMAR, V.; PRASAD, R.; VARMA, A. **The Lychee Biotechnology**. Springer, 2017, p. 1-30.

WANG, Y. J.; ZHAO, D. X.; GAO, J. L.; PENG, Z. Q. Volatile Components of Litchi chinensis Sonn. Leaf Oil Extracts Obtained by Simultaneous Distillation Extraction. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, [s. l.], v. 16, n. 2, p. 161-165, 2013.

WEN, L.; WU, D.; JIANG, Y.; PRASADD, K. N.; LIN, S.; JIANG, G.; HE, J.; ZHAO, M.; LUO, W.; YANG, B. Identification of flavonoids in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) leaf and evaluation of anti-cancer activities. **Journal of Functional Foods**, [s. l.] v. 6, p. 555-563, 2014.

WEN, L.; YOU, L.; YANG, X.; YANG, J.; CHEN, F.; JIANG, Y.; YANG, B. Identification of phenolics in litchi and evaluation of anticancer cell proliferation activity and intracellular anti-oxidant activity. **Free Radical Biology and Medicine**, New York, v. 84, p. 171-184, 2015.

YANG D.; CHANG, Y.; LIN, H.; CHEN, Y.; HSU, S.; LIN, J. Inhibitory effect of Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) flower on lipopolysaccharide-induced expression of proinflammatory mediators in RAW264.7 cells through NF- κ B, ERK, and JAK2/STAT3 inactivation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 62, p. 3458-3465, 2014.

ZAKER, M. Natural Plant Products as Eco-friendly Fungicides for Plant Diseases Control- A Review. **The Agriculturists**, [s. l.] v. 14, n. 1, p. 134-141, 2016.

ZHANG, R.; ZENG, Q.; DENG, Y.; ZHANG, M.; WEI, Z.; ZHANG, Y.; TANG, X.
Phenolic profiles and anti-oxidant activity of litchi pulp of different cultivars cultivated in Southern China. **Food Chemistry**, London, v.136, p. 1169-1176, 2013.