



LUÍZ GUILHERME MALAQUIAS DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DA PITAIA E INFLUÊNCIA DA
SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA SOBRE SUA QUALIDADE**

**LAVRAS – MG
2024**

LUÍZ GUILHERME MALAQUIAS DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DA PITAIA E INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO
LUMINOSA SOBRE SUA QUALIDADE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dr.^a Elisângela Elena Nunes Carvalho
Orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Silva, Luiz Guilherme Malaquias da.

Desenvolvimento da pitaia e influência da suplementação
luminosa sobre sua qualidade / Luiz Guilherme Malaquias da Silva.
- 2024.

100 p. : il.

Orientador(a): Elisângela Elena Nunes Carvalho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2024.

Bibliografia.

1. Pós-Colheita. 2. Qualidade. 3. LED. I. Carvalho, Elisângela
Elena Nunes. II. Título.

LUÍZ GUILHERME MALAQUIAS DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO DA PITAIA E INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO
LUMINOSA SOBRE SUA QUALIDADE**

**DEVELOPMENT OF PITAIA AND INFLUENCE OF LUMINOSA
SUPPLEMENTATION ON ITS QUALITY**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 20 de agosto de 2024.

Dr. ^a Elisângela Elena Nunes Carvalho	UFLA
Dr. ^a Leila Aparecida Salles Pio	UFLA
Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas	UFLA
Dr. Mário Sérgio Lourenço	UFLA
Dr. Sérgio Augusto de Sousa Campos	UNILAVRAS

Profa. Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho
Orientadora

**LAVRAS – MG
2024**

Aos meus pais Marlene e Carlos Antônio e à minha irmã Suellen, cuja fé em meu potencial e apoio contínuo tornaram possível a conclusão desta etapa. Agradeço por cada palavra de encorajamento e por sempre estarem ao meu lado. Com todo amor e gratidão

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Senhor, a Ti agradeço por cada momento desta jornada. Tua força e graça me sustentaram e me permitiram concluir mais uma etapa. Toda honra e glória a Ti, meu Deus.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Ciências de Alimentos (DCA), e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, por proporcionarem toda a estrutura e suporte para a realização das pesquisas e pela oportunidade desta formação. E à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fomento financeiro.

À professora Dra. Elisangela Carvalho, pela orientação durante esta etapa, pela paciência e confiança no meu potencial para executar os planejamentos propostos.

Aos professores, Dra. Leila Pio e Dr. Eduardo Vilas Boas e ao pesquisador Dr. Danilo Abreu, pelas contribuições dadas durante a realização e avaliação deste trabalho.

Aos meus pais Marlene e Carlos Antônio, nunca esquecerei do amor e do apoio incondicional. Eternamente grato por tudo, muito obrigado!

À minha irmã Suellen, que sou eternamente grato por tudo o que você fez por mim. Sua generosidade, compreensão e amor transformaram a minha jornada. Obrigado por ser minha companheira e amiga fiel.

Aos membros do laboratório de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças, Graciele, Alexandre, Elano, Lorrane, Estela, Fabrício e Ingrid, pela recepção, acolhimento e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Lucas Simões, Lucas Kenzo, Pablo, Pedro, Aléxia, Vander, Gabriel Giovanni e Adrian, obrigado por cada risada compartilhada, por cada vivência e por cada momento de cumplicidade e lealdade.

A todos aqueles que contribuíram de alguma forma com a minha formação, não tenho palavras para expressar a enorme gratidão e o grande carinho que tenho por vocês.

Muito obrigado!

Seja sempre o primeiro a acreditar em você mesmo.

PRIMEIRA PARTE

RESUMO GERAL

A pitaia é uma fruta com grande apelo devido ao seu apelo sensorial, nutricional e funcional, entretanto, a determinação do ponto de colheita ideal é um desafio, em razão da preocupação com a produtividade e predileção dos consumidores. Além disso, grande parte dos produtores ao redor do mundo enfrentam muitos desafios relacionados ao cultivo, como o fotoperíodo. Neste sentido, no presente estudo foram realizados dois experimentos com objetivo de investigar os processos metabólicos que ocorrem durante o desenvolvimento e o efeito da suplementação luminosa na qualidade de pitaia. Assim sendo, ao longo do desenvolvimento da *S. megalanthus* (S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.) houve aumento nas dimensões, na massa, nos macrominerais (P, K, Ca, Mg e S), nos microminerais (Fe, Zn, Mn, Cu), nos teores de compostos fenólicos e na atividade antioxidante. Já em relação às enzimas que modificam a parede celular, todas tiveram atividade ao longo do desenvolvimento, o que pode ser associado ao amaciamento dos frutos nos estádios finais e aos vestígios de flacidez nas cavidades celulares. No segundo experimento, plantas das cultivares ‘Boreal Red’ (A), ‘Chinesa’ (B) (*S. undatus*) e ‘Roxa do Pará’ (C) (*S. costaricensis*) foram submetidas por quatro horas (20:00 às 24:00), diariamente durante o período de floração (20 dias $\pm$ 3), à suplementação luminosa, utilizando-se lâmpadas LEDs. Os frutos, no ponto comercial de colheita, foram submetidos a análises físicas, físico-químicas e químicas. No qual foi possível observar que as três cultivares testadas apresentaram aumentos significativos com a suplementação luminosa nos parâmetros massa, na coloração do fruto e nos teores de frutose e vitamina C. Os resultados desta pesquisa ampliam o conhecimento científico sobre o cultivo da pitaia e oferecem subsídios para o aprimoramento das práticas agrícolas, especialmente em relação ao fotoperíodo crítico.

Palavras-chave: Fruta do dragão; Compostos bioativos; LED; Pós-colheita.

GENERAL ABSTRACT

Dragon fruit is highly valued due to its sensory, nutritional and functional appeal. However, determining the ideal harvest point is a challenge due to concerns about productivity and consumer preference. In addition, many producers around the world face many challenges related to cultivation, such as photoperiod. In this sense, two experiments were carried out in this study to investigate the metabolic processes that occur during development and the effect of light supplementation on the quality of dragon fruit. Thus, throughout the development of *S. megalanthus* (S1 - Immature 1; S2 - Immature 2; S3 - Green to ripe; S4 - early ripening; S5 - Ripe), there was an increase in dimensions, mass, macrominerals (P, K, Ca, Mg and S), microminerals (Fe, Zn, Mn, Cu), phenolic compound levels and antioxidant activity. Regarding the enzymes that modify the cell wall, all of them were active throughout development, which can be associated with the softening of the fruits in the final stages and the traces of flaccidity in the cell cavities. In the second experiment, plants of the cultivars 'Boreal Red' (A), 'Chinesa' (B) (*S. undatus*) and 'Roxa do Pará' (C) (*S. costaricensis*) were subjected to light supplementation for four hours (20:00 to 24:00), daily during the flowering period (20 days $\pm$ 3), using LED lamps. At the commercial point of harvest, the fruits were subjected to physical, physicochemical and chemical analyses. It was possible to observe that the three cultivars tested showed significant increases with light supplementation in the parameters mass, fruit color and fructose and vitamin C levels. The results of this research expand scientific knowledge about dragon fruit cultivation and provide support for improving agricultural practices, especially in relation to the critical photoperiod.

Keywords: Dragon fruit; Bioactive compounds; LED; Post-harvest.

INDICADORES DE IMPACTO

O estudo sobre o desenvolvimento metabólico e o impacto da suplementação luminosa em pitayas contribuiu significativamente para avanços nos âmbitos sociais, tecnológicos, econômicos e culturais. Os resultados caracterizaram e quantificaram melhorias na qualidade dos frutos, como aumento de massa, coloração, frutose e vitamina C, beneficiando tanto produtores quanto consumidores ao atender demandas de mercado por frutas de maior valor nutricional e sensorial. Além disso, a pesquisa oferece soluções práticas para desafios enfrentados por produtores globais, como o manejo do fotoperíodo. Os impactos sociais foram observados pela melhoria das práticas de cultivo e pela disseminação de conhecimento técnico entre agricultores, especialmente em regiões produtoras de pitaya. Os resultados alcançam diretamente produtores rurais, que podem implementar as tecnologias estudadas, e indiretamente consumidores, que terão acesso a produtos de melhor qualidade. A pesquisa envolveu docentes, estudantes, técnicos e produtores rurais, alinhando-se aos princípios extensionistas ao colaborar com parceiros externos. Os impactos podem ser classificados em diversas áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, incluindo Tecnologia e Produção, pela inovação no manejo do fotoperíodo; Meio Ambiente, pelo potencial de otimização dos recursos agrícolas; e Educação, ao promover a disseminação de práticas aprimoradas junto a comunidades e profissionais do setor. Adicionalmente, a pesquisa está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, contribuindo para a Fome Zero e Agricultura Sustentável, ao aumentar a eficiência agrícola pela melhoria na qualidade dos frutos e a Ação Contra a Mudança Global do Clima, ao otimizar o uso de recursos para produção em sistemas agrícolas sustentáveis. Assim, este estudo destaca-se como um importante avanço no cultivo de pitayas, promovendo impactos amplos e integrados à sustentabilidade global.

IMPACT INDICATORS

The study on the metabolic development and the impact of light supplementation on pitayas has significantly contributed to advancements in social, technological, economic, and cultural aspects. The results characterized and quantified improvements in fruit quality, such as increased mass, color, fructose, and vitamin C content, benefiting both producers and consumers by meeting market demands for fruits with higher nutritional and sensory value. Furthermore, the research provides practical solutions to global challenges faced by producers, such as photoperiod management. Social impacts were observed through improved cultivation practices and the dissemination of technical knowledge among farmers, particularly in pitaya-producing regions. The results directly benefit rural producers, who can implement the studied technologies, and indirectly benefit consumers by providing access to higher-quality products. The research involved professors, students, technicians, and rural producers, aligning with extension principles through collaboration with external partners. The impacts can be classified into various thematic areas of the National Extension Policy, including Technology and Production, through innovations in photoperiod management; Environment, due to the potential optimization of agricultural resources; and Education, by promoting the dissemination of improved practices to communities and professionals in the sector. Additionally, the research aligns with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), contributing to Zero Hunger and Sustainable Agriculture by enhancing agricultural efficiency and fruit quality, and Climate Action by optimizing resource use in sustainable agricultural systems. Thus, this study stands out as a significant advancement in pitaya cultivation, fostering broad and integrated impacts on global sustainability.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	7
1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	12
2.1 Aspectos gerais da pitaia	12
2.2 Fisiologia da pitaia.....	16
2.3 Compostos bioativos em pitaias e seu potencial funcional	21
2.4 A utilização da suplementação luminosa para a produção de pitaias.....	23
REFERÊNCIAS	28
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS.....	36
ARTIGO 1 – ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS DA PITAIA (<i>Selenicereus megalanthus</i>)	36
1. INTRODUÇÃO.....	38
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4. CONCLUSÃO.....	59
REFERÊNCIAS	60
APÊNDICES	68
ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA NA SOBRE A QUALIDADE DE FRUTOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE <i>Selenicereus spp</i>	71
1. INTRODUÇÃO.....	73
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	74
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	82
4. CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS	94
TERCEIRA PARTE	100
CONSIDERAÇÕES FINAIS	100

1. INTRODUÇÃO GERAL

A pitia, também conhecida como fruta do dragão, é uma fruta exótica não climatérica originária das Américas, pertencente à família Cactaceae e aos gêneros *Selenicereus* e *Hylocereus*, sendo este apenas usual para a pitia polyrisus. O fruto, do tipo baga, apresenta formato globoso a subgloboso, com casca de coloração amarela ou vermelha, coberta por brácteas, podendo algumas cultivares possuírem espinhos (THAIUDOM; OONSIVILAI; THAIWONG, 2021; TRINDADE et al., 2023). A polpa do fruto, branca ou vermelha, apresenta minúsculas sementes. Introduzida há pouco tempo no Brasil, o cultivo e o consumo das frutas do dragão vêm aumentando no país, assim como em outras regiões tropicais e subtropicais devido à sua aparência exótica, sabor agradável e potencial funcional e nutricional.

No Brasil, existem 640 estabelecimentos especializados no cultivo de pitia (IBGE, 2017; AEN, 2022), e o Nordeste do país mostra-se altamente promissor para a produção da fruta, devido às suas condições ideais. A região se beneficia de baixa umidade, alta exposição solar e sistemas de irrigação controlada, fatores que ajudam a minimizar a incidência de patógenos. A pitia, além de ser consumida fresca, é amplamente utilizada pelas indústrias de medicamentos, cosméticos e produtos gastronômicos. No Brasil, a comercialização da fruta iniciou-se em 2005 e alcançou 1.459 toneladas em 2017 (DOS SANTOS; DOS SANTOS; AMARAL, 2023). A fruta tem atraído crescente interesse devido à sua aparência exótica e alto valor nutricional, especialmente nos mercados asiático e europeu. No entanto, visando ótimas características para o consumo, com base em critérios qualitativos e quantitativos, a seleção da cultivar ideal permanece sendo um desafio significativo para o setor.

A investigação e o desenvolvimento de tecnologias pós-colheita da pitia são essenciais para estender sua vida útil e preservar sua qualidade sensorial e nutricional (MARTINELLI et al., 2021). Atrelado a isto, apesar do avanço científico, pouco se tem relatado sobre o desenvolvimento, condições de colheita e comportamento pós-colheita dos frutos de algumas cultivares como a *S. megalanthus*. Além disso, antecedente ao desenvolvimento do fruto, há o fenômeno da floração, que é um importante processo de desenvolvimento para as plantas superiores, especialmente na transição do crescimento vegetativo para o desenvolvimento reprodutivo.

Neste contexto, a compreensão dos processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos no desenvolvimento da pitia, aliada à aplicação estratégica de luz suplementar durante o

florescimento, pode fornecer percepções valiosas para otimizar a produção de frutas de alta qualidade. Assim sendo, este estudo buscou evidenciar os eventos que ocorrem ao longo do desenvolvimento da pitia e a influência da suplementação luminosa na qualidade de diferentes cultivares de pitia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos gerais da pitia

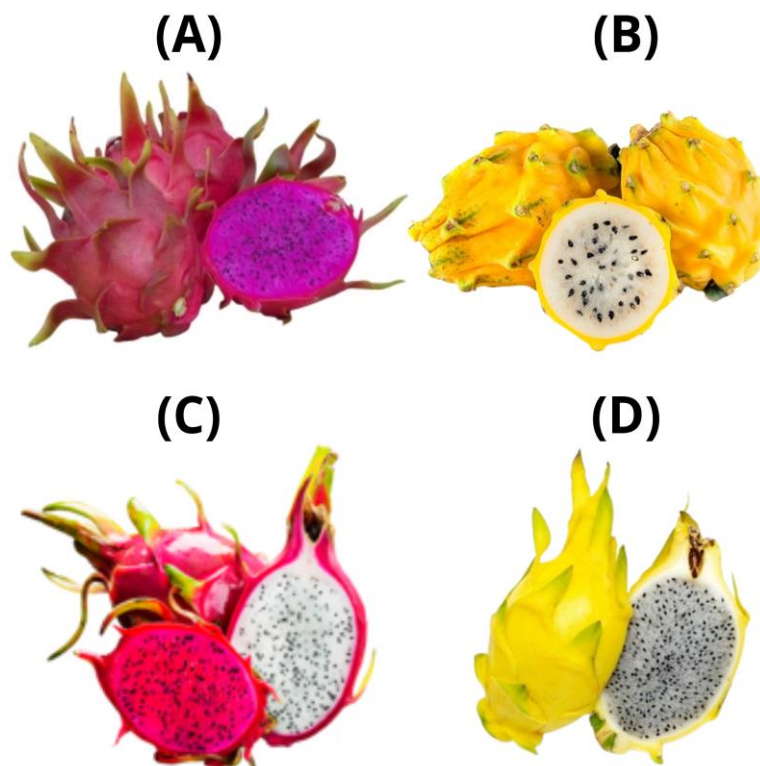
A primeira informação técnica sobre pitias foi publicada na "História Geral e Natural das Índias" em 1535, destacando claramente que a fruta é comestível (TIAN et al., 2014). As pitias são cactáceas do gênero *Selenicereus*, com alto potencial como planta ornamental, frutífera e fonte de compostos nutricionais e bioativos. A demanda por seus frutos é elevada nos mercados nacional e internacional e sua produção pode gerar empregos e renda para a nação produtora (MAGALHÃES et al., 2019). A maioria das espécies do gênero *Selenicereus* são encontradas na Mesoamérica (ORTIZ HERNÁNDEZ; CARRILLO SALAZAR, 2012).

Recentemente, um estudo definiu *Selenicereus* como nome do gênero, caindo em desuso *Cereus megalanthus*, *Mediocactus megalanthus* e *Hylocereus* (KOROTKOVA; BORSH; ARIAS, 2017). Diante desse fato, todos os trabalhos utilizados com nomenclatura em desuso, serão atualizados nesta revisão. No Brasil, o estado de São Paulo, foi um dos pioneiros em relação a implementação da cultura e atualmente está despertando o interesse de fruticultores de todas as regiões do país, inclusive em estados de regiões mais frias como o Rio Grande do Sul. Isso se deve, principalmente, ao alto valor de mercado da fruta e à sua boa aceitação pelos consumidores. As espécies do gênero *Selenicereus* apresentam flores grandes, caule do tipo cladódio e uma ampla variação morfológica nas frutas, o que pode dificultar a caracterização taxonômica. Segundo Hunt (2006), com base em Britton e Rose (1963), estima-se que existam 14 espécies de *Selenicereus*. No México, foram registradas nove espécies, sendo que quatro delas são mais comuns: *S. undatus*, *S. purpussi*, *S. triangularis* e *S. ocamponis* (CÁLIX DE DIOS, 2004; CÁLIX DE DIOS E CASTILLO, 2005, 2008). *S. costaricensis* é encontrada na Nicarágua, enquanto *S. megalanthus* pode ser encontrada na Colômbia e no Peru e demais localidades. Cada uma dessas espécies possui diversas variedades cultivadas por agricultores.

As quatro variedades principais de pitia comercializadas são: *Selenicereus costaricensis*, chamada de pitia roxa, com polpa roxa escura e casca vermelha (Figura 1A),

Selenicereus megalanthus, conhecida como pitaia-amarela, com polpa branca e casca amarela (Figura 1B), *Selenicereus undatus*, a variedade mais comum, com polpa branca e casca vermelha, também chamada de pitaia branca (Figura 1C) e a Golden israelense, similar à *Selenicereus undatus*, porém com casca amarela (Figura 1D) (DOS SANTOS; DOS SANTOS; AMARAL, 2023).

Figura 1 – Pitaias *Selenicereus costaricensis* (A), *Selenicereus megalanthus* (B), *Selenicereus undatus* (C) e a Golden israelense (D).

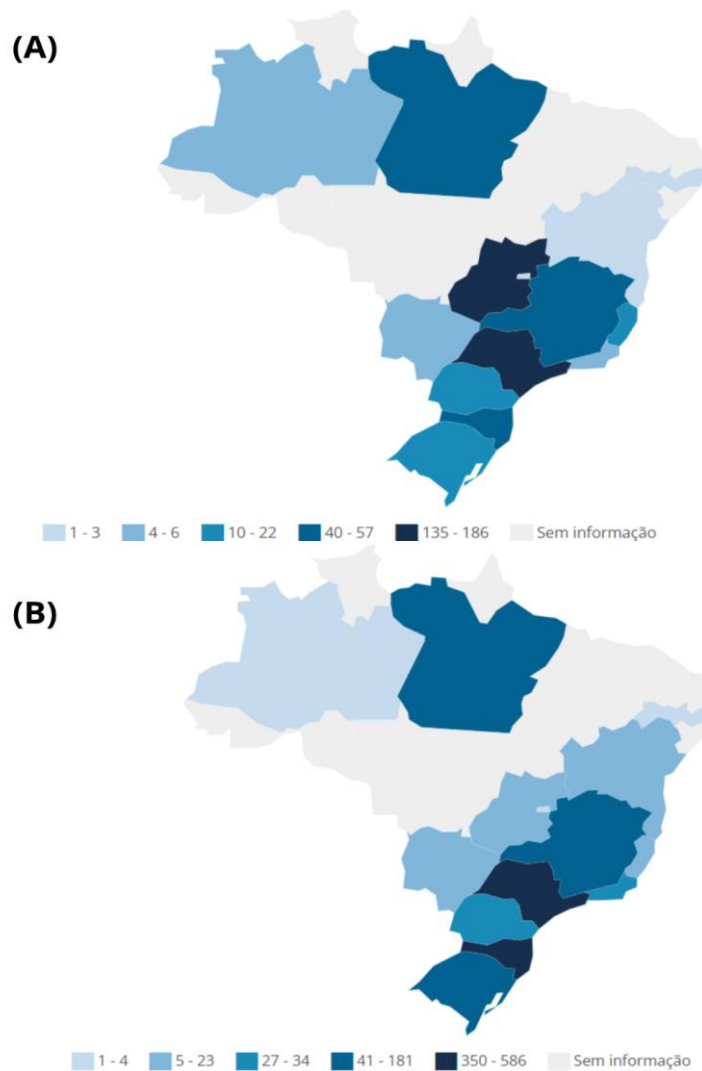


Fontes: Dierberger (2024) e Pitaias MG (2024).

No Brasil, os primeiros registros de plantios comerciais de pitaia datam do início dos anos 2000, ocorrendo no município de Itajobi, no estado de São Paulo, já a comercialização no atacado foi registrada pela primeira vez em 2005, na unidade Ceasa no Rio de Janeiro (ANDRADE, 2022). O Vietnã é o maior produtor mundial, com uma produção superior a 600 mil toneladas anuais, seguido pela China, que produz 36 mil toneladas por ano, e Taiwan, com

uma produção anual de 27 mil toneladas, enquanto o Brasil produziu quase 1.500 toneladas em 2017 (SANTOS; PIO; FALEIRO, 2022; DOS SANTOS; DOS SANTOS; AMARAL, 2023). Conforme os registros do IBGE (2017), no Brasil, o estado de São Paulo possui a maior área colhida em hectares (186) seguido de Goiás (135), Santa Catarina (57), Pará (41) e Minas Gerais (40), como pode ser observado nas Figuras 2A e 3A. Já em relação à quantidade produzida por toneladas (Figuras 2B e 3B), São Paulo é o maior produtor (586), seguido por Santa Catarina (350), Minas Gerais (181), Pará (152) e Rio Grande do Sul (41).

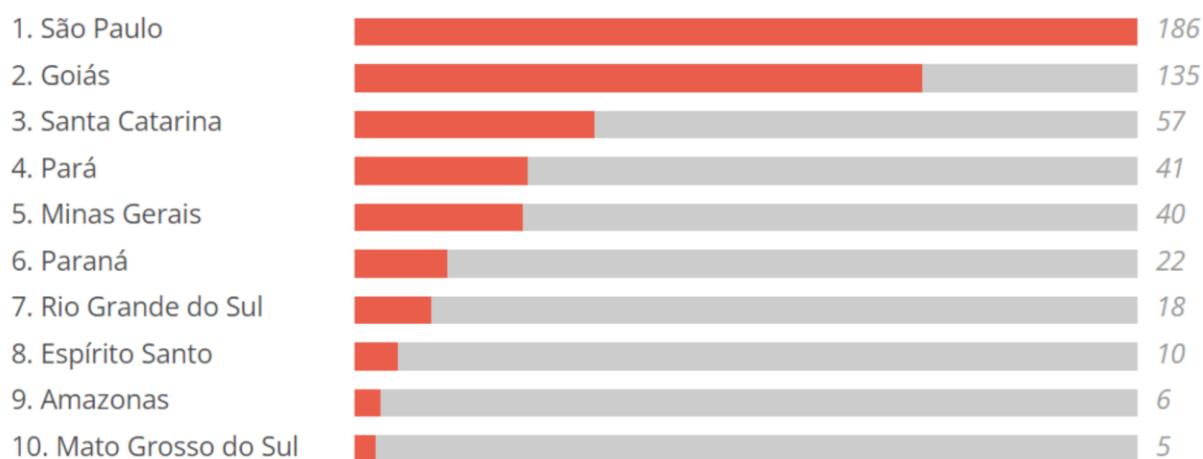
Figura 2 – Cartogramas referentes à Pitaia do Brasil por área colhida em hectares (A) e quantidade produzida em toneladas. *Informações referentes aos estabelecimentos com mais de 50 pés em 30/09/2017.



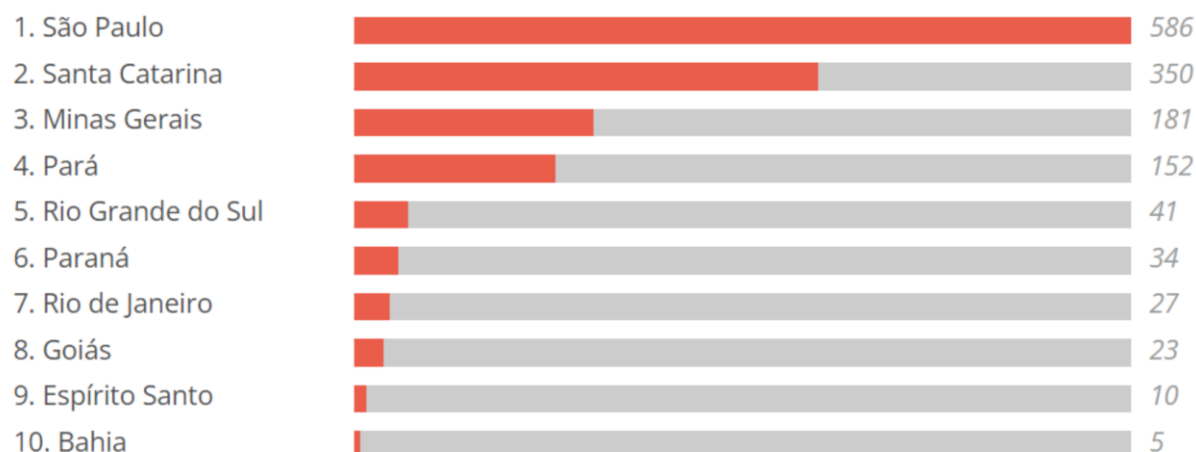
Fonte: IBGE (2017).

Figura 3 – Rankings referentes a pitaia dos estados do Brasil por Área colhida em hectares (A) e quantidade produzida por estados em toneladas. *Informações referentes aos estabelecimentos com mais de 50 pés em 30/09/2017.

(A)



(B)



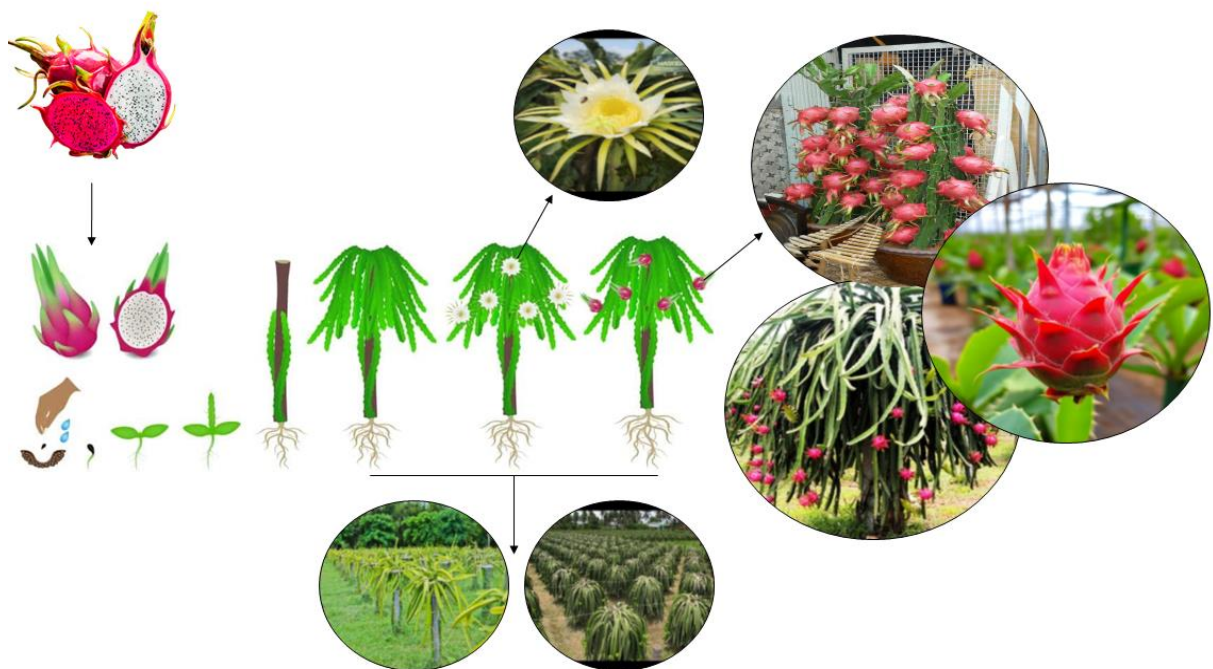
Fonte: IBGE (2017).

De acordo com dados da Emater, a área dedicada ao cultivo de pitaia em Minas Gerais está crescendo, sendo majoritariamente gerida pela agricultura familiar. Em 2022, foi reportado que 137 produtores estavam investindo na fruta, ocupando 116 hectares e produzindo 682 toneladas, desse total, 51,1% eram originários da agricultura familiar (VALVERDE, 2024). Já em 2023, o número de produtores subiu para 318, e a área plantada expandiu para 158 hectares, resultando em uma produção de 1.558 toneladas. A participação da agricultura familiar também aumentou, alcançando 68,2%.

2.2 Fisiologia da pitaia

As plantas de pitaia (Figura 4) são cactos trepadeiras adaptadas a climas quentes e úmidos, capazes de crescer em diversos tipos de solo desde que apresentem boa drenagem. Suas flores são perfumadas, predominantemente brancas e a polinização é realizada principalmente por insetos, como as abelhas (MORAIS et al., 2019; XIONG et al., 2020).

Figura 4 – Planta flor e fruta de *Selenicereus u.*



Fonte: Autor (2024)

A fruta possui formato oval ou oblongo, com casca amarela, rosa ou vermelha, dependendo da espécie e variedade, coberta por escamas irregulares. No Brasil, o intervalo entre a formação dos botões florais e a colheita de frutos de *Selenicereus undatus*, varia de 50 a 66 dias (SILVA et al., 2015). Existem variedades de polpa branca e vermelha, coloração contrastada pelas inúmeras pequenas sementes pretas comestíveis (Figura 5). A formação do fruto ocorre após a polinização com um período de crescimento que varia de 30 a 50 dias dependendo da variedade e das condições ambientais. A colheita ocorre quando a casca apresenta coloração brilhante e uniforme e seu consumo deve ocorrer o mais breve possível, pois a fruta chega ao estado senescente rapidamente tendo perdas acentuadas de sabor e textura

da polpa (JIANG et al., 2012; MARTINELLI et al., 2021; TRINDADE et al., 2023). Além disso, segundo Magalhães et al. (2019a), a partir de 40 dias após a antese, é possível observar uma deterioração da qualidade externa da pitiaia branca (*S. undatus*), manifestada por murcha e descoloração da casca).

Figura 5 – Fruto de *Selenicereus*. inteiro e cortado.



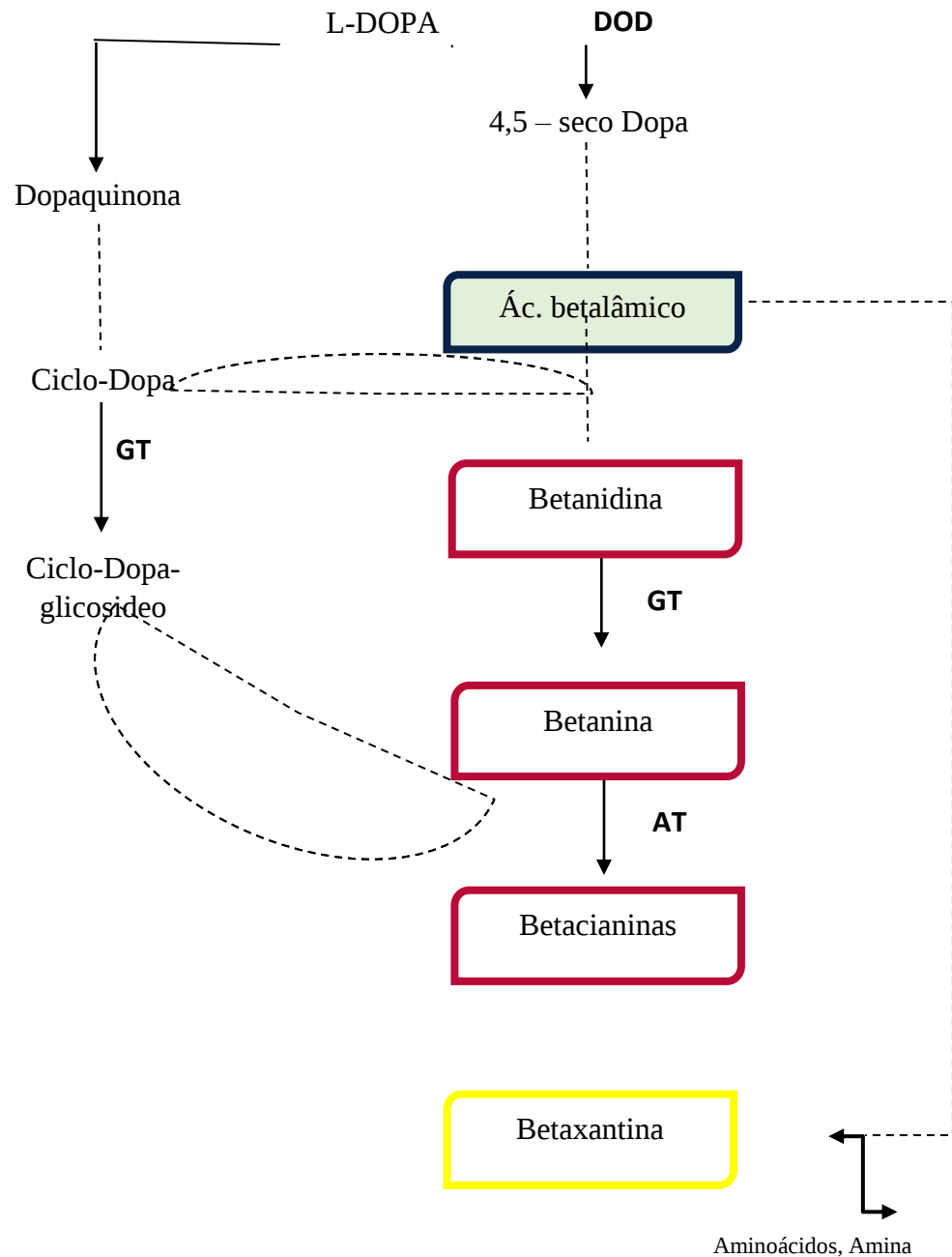
Fonte: Autor (2024).

A pitiaia apresenta uma curva de crescimento sigmoideal simples, caracterizada por um aumento na taxa de crescimento logo após a sua formação, seguido por uma queda subsequente (MAGALHÃES et al., 2019b; MARTINELLI et al., 2021). Durante o processo de desenvolvimento, a pitiaia recebe por meio do floema, fotossintatos metabolizados pela planta. Com a entrada de sacarose nas células, ocorrem alterações no seu potencial osmótico que resultam na absorção de água, causando a expansão do fruto. Logo, desde a formação até a maturação da fruta, ocorre o acúmulo e transformação de matéria orgânica, mantendo um equilíbrio entre sínteses e degradações (OSORIO; FERNIE, 2013). Durante o amadurecimento, etapa final da maturação, nota-se como mudança da coloração da casca do verde para o amarelo, rosa ou vermelho e elevação da doçura e redução da acidez e firmeza da polpa, o que torna o

fruto atrativo e adequado para o consumo. Em algumas cultivares, como a *S. undatus*, as primeiras mudanças na cor da casca da pitaia ocorrem entre 24 e 25 dias após a antese, enquanto a *H. polyrhizus* entre os dias 26 e 27 (NERD; GUTMAN; MIZRAHI, 1999). Tais fenômenos são altamente coordenados, geneticamente programados e irreversíveis, envolvendo uma série de mudanças fisiológicas e bioquímicas, com impactos nutricionais e sensoriais.

A coloração vibrante da pitaia deve-se à presença de betalainas, pigmentos hidrossolúveis presentes em alguns vegetais, como beterraba vermelha, amaranto e pera espinhosa (ESATBEYOGLU et al., 2015). Esse grupo de pigmentos é derivado do aminoácido tirosina pela ação da enzima tirosinase e sintetizados no citoplasma (SANT'ANNA et al., 2013). A síntese das betalainas começa com a biossíntese de ácido betalâmico (Figura 6), um precursor fundamental para a formação de betalainas. Este ácido é formado a partir da L-tirosina, que é transformada em L-DOPA e depois em dopaquinona, que eventualmente leva ao ácido betalâmico. O ácido betalâmico pode se combinar com diferentes compostos para formar dois tipos principais de betalainas: betacianinas (que conferem coloração vermelha à púrpura) e betaxantinas (que conferem coloração amarela a laranja). De acordo com Gandía-Herrero e Gracia Carmona (2013), as betacianinas resultam da conjugação do ácido betalâmico com aminas ou aminoácidos, onde o ácido betalâmico aparece condensado com ciclo-dihidroxifenilalanina-(ciclo-Dopa). Até o momento já foram descritos mais de 50 tipos de betacianinas, entre elas, betanina, amarantina, gonferina e bougainvilina (VOLPE; RENHE; STRINGUETA, 2009). Já as betaxantinas são formadas pela conjugação do ácido betalâmico com aminoácidos ou aminas diferentes.

Figura 6 – Síntese das betalaínas. TR: Tirosinase; DOS: dopa-4,5-dioxigena; GT: glicosiltransferase; AT: aciltransferase.



Fonte: Adaptado de Afonso et al. (2022).

A percepção gustativa das frutas é influenciada por compostos como açúcares, ácidos orgânicos, terpenoides, fenólicos e os minerais, os quais, são responsáveis por sensações palatáveis, como doçura, acidez, amargor e salinidade, além de afetarem a aparência (TOMAS et al., 2024).

O aumento da doçura das frutas, observado durante o amadurecimento, se deve, principalmente, ao acúmulo de glicose, frutose e sacarose. Esses açúcares são utilizados para produção de energia, no processo respiratório (BARRAGÁN-IGLESIAS; MÉNDEZ-LAGUNAS; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, 2018; GIOVANNONI et al., 2017; LAHBIB et al., 2023). Durante o desenvolvimento de pitaia, o amido é acumulado na fase de crescimento e hidrolisado em função do amadurecimento (HUA et al., 2018). Já a acidez das frutas é determinada principalmente pelos ácidos orgânicos, sendo o ácido málico predominante na pitaia de casca vermelha (HUA et al., 2018; LI et al., 2019; LIU et al., 2019; ZHAO et al., 2019; UMER et al., 2020).

Na pitaia Golden israelense, a glicose e o ácido málico desempenham papéis significativos na definição do sabor e na percepção da qualidade gustativa, por outro lado, na pitaia *S. megalanthus*, a qualidade da fruta é majoritariamente influenciada pela presença de sacarose, frutose e glicose como açúcares predominantes, enquanto o ácido cítrico se destaca como o principal ácido responsável (XIE et al., 2022).

Segundo estudos de Zhang et al. (2021), ao realizarem análises do transcriptoma de pitaias de casca vermelha, observaram que as principais enzimas, invertase e sacarose sintase, juntamente com o gene *HpVAl1*, estão envolvidas no metabolismo do açúcar. Dentre os açúcares que constituem a pitaia, Xie e colaboradores (2022), destacam que o amido se acumula predominantemente nos estádios iniciais do desenvolvimento de duas cultivares do gênero *Selenicereus* e é convertido em açúcares solúveis durante o amadurecimento, no qual é possível identificar seis componentes de açúcares, tais como a glicose, sacarose, frutose, galactose, inositol e sorbitol.

O amaciamento da fruta representa um dos principais parâmetros tanto para o consumo, quanto para sua vida útil pós-colheita e seu valor comercial (ZHANG et al., 2019). A degradação controlada dos polissacarídeos da parede celular, como celulose, hemiceluloses e pectinas, é um dos fatores críticos que resultam no afrouxamento das redes poliméricas da parede, conferindo ao fruto uma textura mais macia e hidratada (CHYLIŃSKA et al., 2017). Magalhães et al. (2019), relataram em um de seus estudos que a firmeza da polpa de frutos de *S. Undatus* de polpa branca apresenta um comportamento quadrático durante o desenvolvimento, com uma diminuição mais acentuada entre 28 e 34 dias, seguida por uma tendência de estabilização nas avaliações posteriores. A despolimerização dos compostos da

parede celular, ocorre mediante o rompimento de cadeias laterais e extensas cisões na cadeia principal de polímeros, catalisada pela ação de enzimas deteriorantes de parede celular, estabelecendo uma associação direta com as alterações na textura dos frutos de maneira geral (LIU et al., 2021; WANG et al., 2023).

Outro fator crucial para a qualidade das frutas é o aroma. A percepção olfativa é complexa, abrangendo centenas a milhares de substâncias voláteis. Por exemplo, a pitiaia baby do cerrado (*Selenicereus setaceus* Rizz.) apresenta doze compostos voláteis em sua polpa durante o desenvolvimento, com os ésteres sendo os mais abundantes, seguidos por aldeídos e álcoois (Rodrigues et al., 2022).

É relevante considerar que há uma grande variabilidade intraespecífica, ou seja, diferenças genéticas entre os acessos dentro de cada espécie. Essa variabilidade genética tem sido observada em características de interesse agrônomo, como fenologia, produtividade, adaptabilidade, resistência a doenças, características físicas e químicas dos frutos, autocompatibilidade, vigor, precocidade, fenologia e sensibilidade ao fotoperíodo para indução de floração (JUNQUEIRA et al., 2010; LIMA et al., 2014).

2.3 Compostos bioativos em pitaias e seu potencial funcional

O consumo de pitaias promove benefícios à saúde devido à diversidade de compostos bioativos presentes em sua composição, como compostos fenólicos e betalaínas. Esses compostos possuem propriedades antioxidantes, antiproliferativas, anticarcinogênicas, antitumorais, anti-inflamatórias, antimutagênicas e antiaterogênicas (MORAIS et al., 2019; ORTIZ HERNÁNDEZ; CARRILLO SALAZAR, 2012; RODRIGUES et al., 2022).

Os compostos fenólicos são metabólitos secundários de plantas que possuem um ou mais grupos hidroxila ligados a um anel benzênico. Variam de fenólicos simples a polifenóis complexos, com base no número, na posição dos grupos hidroxila ligados e nos elementos estruturais que ligam os anéis fenólicos. Polifenóis reduzem o estresse oxidativo e podem neutralizar problemas de saúde, como doenças cardiovasculares e cancerígenas (DE LA ROSA et al., 2019; KHODDAMI; WILKES; ROBERTS, 2013; SINGH et al., 2018). Compostos fenólicos como os ácidos gálico, ferúlico, clorogênico e cafeico, bem como catequina e vanilina são identificados em frutos de diferentes variedades e cultivares de pitiaia (ARIVALAGAN et al., 2021; ESQUIVEL; STINTZING; CARLE, 2007; LI et al., 2019; MORAIS et al., 2019; ZITHA et al. 2022).

As betalaínas são pigmentos naturais derivados de plantas que atualmente têm uma enorme demanda para uso alimentício com a utilização como corantes naturais (GENGATHARAN; DYKES; CHOO, 2015). Além disso, possuem uma alta capacidade antioxidante atuando por meio das doações de elétrons neutralizando as espécies reativas de oxigênio. Também estimulam a atividade de enzimas antioxidantes endógenas no organismo, reforçando ainda mais sua capacidade de combater o estresse oxidativo (SADOWSKA-BARTOSZ; BARTOSZ, 2021).

A capacidade antioxidante de pitaia foi comprovada por Zitha et al. (2022), a partir de diferentes métodos, o que pode ser associado à presença dos compostos fenólicos e betalânicos. Outro aspecto apontado sobre a polpa da fruta, é o seu potencial para a produção de oligossacarídeos pécnicos com características bifidogênicas, reconhecido por suas propriedades prebióticas. Esses oligossacarídeos melhoram a saúde intestinal ao estimular seletivamente a microbiota do cólon (WICHIENTHOT; ISHAK, 2017; KHUITUAN et al., 2019). O consumo do oligossacarídeo presente na pitaia tem demonstrado efeitos positivos no sistema imunológico. Estudos indicam que uma dose baixa de 4 g/dia desse oligossacarídeo pode aumentar significativamente os níveis de imunoglobulina A (IgA sérica), uma importante proteína envolvida na resposta imune (PANSAL et al., 2023).

Dentre os nutrientes essenciais, a Vitamina C é frequentemente destacada em pitaia, com teores entre 25 e 50 mg de ácido ascórbico por 100 g-1 de polpa (GIANNONI et al., 2022). Esse composto, também conhecido como ácido ascórbico ou ascorbato, é um antioxidante solúvel (SMIRNOFF, 2000) e fundamental para a saúde humana, sendo obtido a partir de plantas comestíveis devido à ausência da enzima final de síntese de ascorbato em humanos (BULLEY et al., 2009; CHEN et al., 2021). As enzimas manose-6-fosfato isomerase, fosfomanomutase, manose-1-fosfato guanililtransferase, manose 3,5-epimerase, L-galactose fosforilase, L-galactose-1-fosfato fosfatase, L-galactose desidrogenase e L-galactono-1,4-lactona desidrogenase estão envolvidas na biossíntese do ascorbato. Enzimas como L-ascorbato oxidase, L-ascorbato peroxidase, desidroascorbato redutase e monodeidroascorbato redutase controlam a sua regeneração, por exemplo (BULLEY et al., 2016).

Essas características tornam a pitaia uma fonte de ingrediente funcional promissor para ser incorporado em diversos produtos alimentícios e suplementos, proporcionando benefícios adicionais para a saúde, além da nutrição básica.

2.4 Suplementação luminosa para produção de pitaias

Durante o desenvolvimento das plantas, a transição do estado juvenil para o adulto é marcada pelo primeiro florescimento, que dá início à fase reprodutiva. No caso da pitiaia, essa transição ocorre, normalmente, dois anos após o plantio, quando a planta entra no período de floração e frutificação pela primeira vez. Durante esse período, a frequência de floração e frutificação é contínua, com a ocorrência de 3 a 5 picos bem característicos. Após aproximadamente cinco anos de plantio, essa floração e frutificação se estabilizam. A abertura das flores de pitiaia ocorre à noite entre 19h e 21h e continua até o amanhecer entre 7h e 9h com duração média de 9 a 14 horas (SANTOS; PIO; FALEIRO, 2022).

É válido ressaltar que os estádios de floração e frutificação na entressafra são mais longos do que na época de floração (de 1 a 4 dias, respectivamente) (TRAN; YEN, 2014). As baixas temperaturas no inverno prolongam os processos reprodutivos, como destacado por Hoa et al. (2008) e Saradhulhat, Kaewsongsang e Suvittawat, (2014), ao avaliarem a produção de frutas fora de época no Vietnã e na Tailândia, respectivamente. De acordo com Master (2024), ao avaliar a tabela de fotoperíodo (Tabela 1) em relação à latitude, constatou-se que o Brasil, (entre + 5° e - 33° C), passa por variações sazonais na duração da luz solar. Em certas épocas do ano, especialmente nas latitudes mais altas, o fotoperíodo pode ser inferior a 12 horas, afetando a diferenciação dos botões florais da pitiaia, crucial para o florescimento e a frutificação.

Tabela 1 – Fotoperíodo nacional no 15º dia do mês.

E	L	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
SP	23° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,0	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
SC	27° S	13,7	13,0	12,3	11,4	10,7	10,4	10,6	11,1	11,9	12,8	13,5	13,9
PA	3° S	12,7	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
MG	18° S	13,7	12,7	12,2	11,7	11,3	11,1	11,5	11,5	12,0	12,5	13,0	13,2
CE	5° S	11,6	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,4	12,4	12,0	11,9	11,7	11,5
PR	25° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,6	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1
GO	15° S	13,2	12,8	12,2	11,6	11,2	10,9	11,4	11,4	12,0	12,5	13,2	13,3
ES	20° S	13,4	12,8	12,2	11,6	11,1	10,8	11,3	11,3	12,0	12,6	13,2	13,5
DF	16° S	13,0	12,7	12,2	11,7	11,4	11,2	11,6	11,6	12,0	12,4	12,9	13,1

*E: Estados; L: Latitude. Fonte: Master (2024)

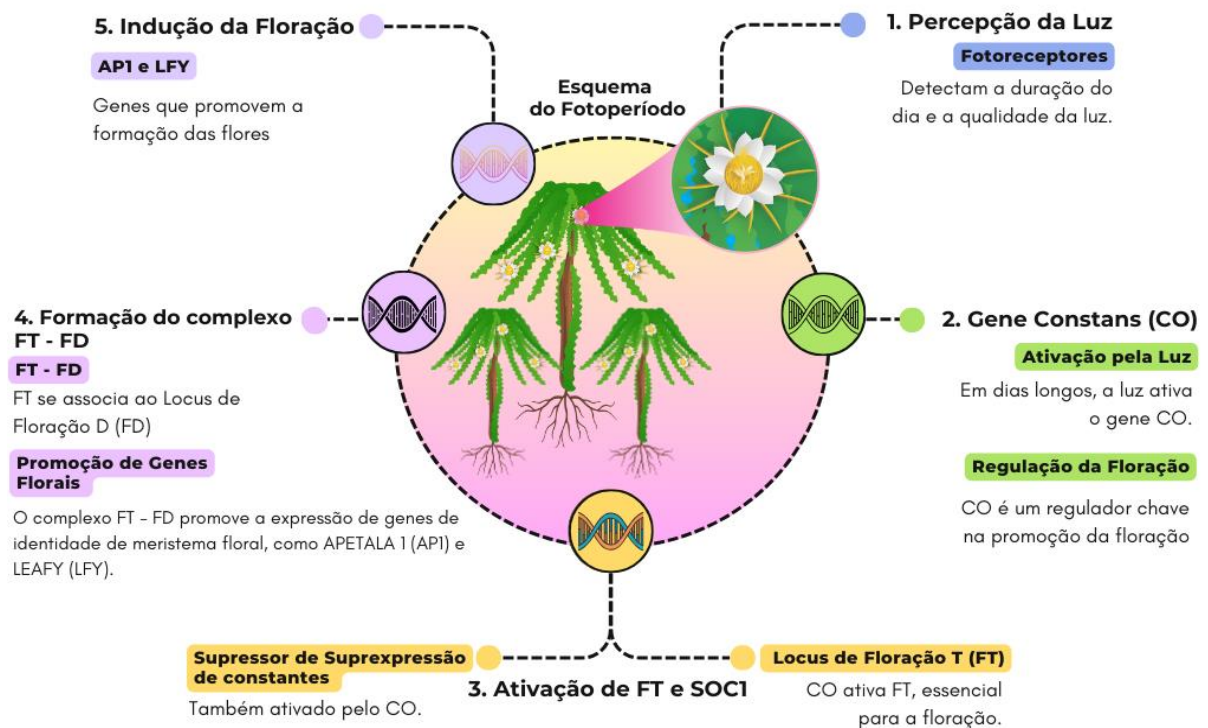
De acordo com a Tabela 1 de Master (2024), pode-se observar que grandes produtores como São Paulo (23°S), Santa Catarina (27°S), Minas Gerais (18°S), Paraná (25°S) não produzem fora de época (de abril a agosto), pois o fotoperíodo é crítico com variações entre 10,9 e 11,6, 10,7 e 11,9, 11,1 a 11,7, 11,2 a 11,7 horas/dia respectivamente. Entretanto há exceções, como o Pará (3°S) com variações entre 12.1 e 12.7 horas/dia ao longo do ano, e o Ceará (5°S) com variações abaixo de 12 horas/dia apenas durante outubro e fevereiro (11.5 a 11.9).

Essas variações no fotoperíodo evidenciam a relevância de estratégias como a iluminação artificial com tecnologia LED para mitigar as limitações sazonais. A capacidade de ajustar artificialmente o fotoperíodo oferece aos produtores brasileiros de pitaia a oportunidade de induzir o florescimento fora do período natural.

A floração é controlada por diversas vias bioquímicas e genéticas como por exemplo a do fotoperíodo, de vernalização e do ácido giberélico. E a formação de flores nas plantas ocorre em três etapas principais: indução floral, evocação floral e desenvolvimento floral (WANG et al., 2024). Essas vias são ativadas por sinais que regulam o tempo de floração. A via do fotoperíodo, em particular, responde ao comprimento do dia e à qualidade da luz (LIM, 2015).

A via do fotoperíodo (Figura 7) corresponde a resposta à duração do dia e a qualidade da luz, além disso, evidências científicas apontam-na como um fator crucial no controle de floração (SONG et al., 2015). Na presença de luz, o gene *constans* (CO) atua como um regulador chave na promoção da floração. O CO ativa o *flowering locus t* (FT) e o *suppressor of overexpression of constans 1* (SOC1) sob condições de dias longos (HEPWORTH, 2002). Posteriormente, o FT se associa ao *flowering locus d* (FD), e o complexo FT-FD promove a expressão de genes de identidade de meristema floral, como APETALA1 (AP1) e LEAFY (LFY), induzindo assim a floração (PAN et al., 2017).

Figura 7 – Esquema do fotoperíodo.



Fonte: Autor (2024).

A floração no período noturno pode ser estimulada e intensificada por meio da suplementação luminosa (Figura 8), utilizando-se radiação fotossinteticamente ativa (XIONG et al., 2020). Desse modo, a suplementação luminosa é uma alternativa interessante para os agricultores aumentarem a produtividade na safra e produzirem pitaia no período da entressafra (JIANG et al., 2012).

Umas das alternativas promissoras é a utilização de diodos emissores de luz (LEDs), pois, ao contrário das lâmpadas convencionais, não gera calor (WALLACE; BOTH, 2016). De acordo com Bourget (2008), a emissão de luz dos LEDs (Figura 8) é principalmente definida pela composição do material semicondutor, permitindo a emissão em comprimentos (de 250 nm a mais de 1000 nm). Além disso, destacam-se por seu tamanho, maior durabilidade, tempo de operação e por serem mais vantajosos economicamente e ambientalmente em comparação com outras fontes de luz convencionais como as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e halógenas (BANTIS et al. 2018).

Figura 8 – Sistema de iluminação artificial real (A) e otimizado (B).



Fonte: Autor (2024). Master (2024)

Com a suplementação luminosa Wang et al. (2024), observaram que ocorreu o aumento no conteúdo de citocinina no estágio inicial, seguido de uma diminuição, e durante a formação dos botões florais, os níveis de giberelina, auxina, ácido salicílico e ácido jasmônico aumentaram, além do incremento dos níveis de giberelina, etileno, auxina e ácido abscísico nos botões florais após uma semana de desenvolvimento. Já em relação ao desenvolvimento dos frutos a suplementação pode influenciar diretamente a fotomorfogênese, promovendo uma maior síntese de compostos bioativos, como antocianinas, carotenoides e outros fitoquímicos

(MUNEER et al., 2014; GUO et al., 2016; CHEN et al., 2017; JIANG et al., 2017). Esses compostos são cruciais para a qualidade nutricional e sensorial dos frutos.

A abordagem tecnológica com a iluminação artificial na entressafra no sul de Taiwan, destacou que a pitaia de polpa vermelha obteve uma resposta melhor que a pitaia de polpa branca com período de iluminação necessário superior de 33 dias a 48 dias, e dentre os resultados houve o aumento da massa e do teor de sólidos solúveis (TRAN; YEN; CHEN, 2015). Entretanto, não há evidências relacionadas com a qualidade de frutos que foram produzidos a partir da suplementação luminosa aplicada durante a floração no Brasil, como forma de indução. Embora a suplementação luminosa possa, teoricamente, mitigar os problemas relacionados ao fotoperíodo crítico da pitaia, ainda não se sabe quais seriam seus efeitos no desenvolvimento e na qualidade das frutas. Assim, essa abordagem pode resultar em um aumento da produtividade com pitaias com qualidades superiores como destacado na literatura, mas carece de estudos que comprovem seus resultados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA ESTADUAL DE NOTÍCIAS. **Pitaia é cultivada em 29 municípios, gera lucros e é destaque do Boletim Agropecuário**. 2022. Disponível em: <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Pitaia-e-cultivada-em-29-municipios-gera-lucros-e-e-destaque-do-Boletim-Agropecuario>. Acesso em: 07 de ago. de 2024.
- ALVES, J. N. de C. Micropartículas de betalainas extraídas da casca de frutos de pitaia (*Hylocereus polyrhizus*) aplicadas em extrato hidrossolúvel de soja. **Dissertação** (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, p. 74, 2022.
- ANDRADE, P. Fruticultura - pitaia. Boletim Semanal n. 43/2022. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Departamento de Economia Rural - Deral. **Divisão de Conjuntura Agropecuária**. Paraná, Governo do Estado. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-11/boletim_semanal_43_deral_23_novembro_2022.pdf. Acesso em: 08 ago. 2024.
- BANTIS, F.; SMIRNAKOU, S.; OUZOUNIS, T.; KOUKOUNARAS, A.; NTAGKAS, N.; RADOGLU, K. Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 437–451. 2018.
- BOURGET, C. M. An introduction to light-emitting diodes. **HortScience**, v. 43, n. 7, p. 1944– 1946. 2008.
- CÁLIX DE DIOS H. Distribución geográfica de las pitahayas (*Hylocereus*) en la República Mexicana. **Cactáceas y Suculentas Mexicanas** XLIX: 1: 4-23. 2008.
- CÁLIX DE DIOS, H., CASTILLO M.R. Estudio sobre la pitahaya amarilla de la Península de Yucatán. **Trópico Rural**, v.1, n. 7, p. 31-35, 2008.
- CÁLIX DE DIOS, H., CASTILLO, M.R. Las especies de pitahaya (*Hylocereus*) y su ubicación en México. **Trópico Rural**, v. 1 n 2, p. 31-37. 2005.
- CHEN, X. L.; YANG, Q. C.; SONG, W. P.; WANG, L. C.; GUO, W. Z.; XUE, X. Z. Growth and nutritional properties of lettuce affected by differential alternating intervals of red and blue LED irradiation. **Scientia Horticulturae**, v. 223, p. 44–52. 2017.
- DE LA ROSA, L. A. et al. Phenolic Compounds. Em: **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**. [s.l.] Elsevier, p. 253–271, 2019.

DIERBERGER, P. Pitaya amarela colombiana. **Dierbeger Plantas**. 2024 Disponível em: <https://fazendacitra.com.br/pitaya-amarela.html> Acesso em 5 ago. 2022.

DOS SANTOS, H. R.; DOS SANTOS, P. V. D.; AMARAL, T. M. Seleção de variedade de pitaya para implantação no Vale do São Francisco com auxílio da análise de decisão multicritério. **Revista em agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 1, p. e11715. 2024.

ESATBEYOGLU, T. et al. Betanin—A food colorant with biological activity. *Mol. Nutr. Food Res.* v. 59, 2015.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaia (*Hylocereus* sp.) Genotypes. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 62, n. 9–10, p. 636–644, 2007.

FENG, C. et al. A chromosome-level genome assembly provides insights into ascorbic acid accumulation and fruit softening in guava (*Psidium guajava*). **Plant Biotechnology Journal**, v. 19, n. 4, p. 717–730, 2021.

FENG, Y. et al. Characterization of Glycolytic Pathway Genes Using RNA-Seq in Developing Kernels of *Eucommia ulmoides*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 64, n. 18, p. 3712–3731, 2016.

GANDÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. **Trends in Plant Science**, v. 18, p. 334-343, 2013.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 645–649, 2015.

GIANNONI, J. A. et al. Caracterização física, química, bioquímica e microbiológica da pitaya vermelha (*Hylocereus costaricensis*) minimamente processada armazenada sob refrigeração. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 438- 449, 2022.

GUO, X.; HAO, X.; ZHENG, J. M.; LITTLE, C.; KHOSLA, S. Effects of plasma vs. high pressure sodium lamps on plant growth, fruit yield and quality in greenhouse cucumber production. **Acta Horticulturae** 1134, p. 79–86, 2016

HEPWORTH, S. R. Antagonistic regulation of flowering-time gene SOC1 by CONSTANS and FLC via separate promoter motifs. **The EMBO Journal**, v. 21, n. 16, p. 4327–4337, 2002.

HOA, N. V. et al. Developing GAP systems for dragon fruit producers and exporters in Binh Thuan and Tien Giang provinces. In: **Proceeding of dragon fruit workshop**, 2008.

HUA, Q. et al. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, p. 117–125, 2018.

HUNT, D. R. The New Cactus Lexicon. Vols I & II. **DH Books**, Milborne Port, UK. p. 925, 2006. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/598941404/Hunt-2006-The-New-Cactus-Lexicon-Vol-I-Text>>. Acesso em: 26 fev. 2024.

IBGE –INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.Censo Agro 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76371. Acesso em: 07 ago 2024.

JIANG, C.; JOHKAN, M.; HOHJO, M.; TSUKAGOSHI, S.; EBIHARA, M.; NAKAMINAMI, A.; MARUO, T. Photosynthesis, plant growth, and fruit production of single-truss tomato improves with supplemental lighting provided from underneath or within the inner canopy. **Scientia Horticulturae**, v. 222, p. 221–229. 2017.

JIANG, Y.-L. et al. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaia (*Hylocereus* sp.). **HortScience**, v. 47, n. 8, p. 1063–1067, 2012.

JUNQUEIRA, K. P.; FALEIRO, F. G.; BELLON, G.; JUNQUEIRA, N. T.V.; FONSECA, K. G.; LIMA, C. A.; SANTOS, E. C. Variabilidade genética de acessos de pitaia com diferentes níveis de produção por meio de marcadores RAPD. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 3, p. 840-846. 2010.

KHODDAMI, A.; WILKES, M.; ROBERTS, T. Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. **Molecules**, v. 18, n. 2, p. 2328–2375, 2013.

KHUITUAN, P.; SAKENA, K.; BANNOB, K.; HAYEEAWAEMA, F.; PEERAKIETKHAJORN, S.; TIPBUNJONG, C.; WICHIENTHOT, S.; CHAROENPHANDHU, N. Prebiotic oligosaccharides from dragon fruits alter gut motility in mice. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 114, n. 1, p. 108821, 2019.

KOROTKOVA, N.; BORSCH, T.; ARIAS, S. A phylogenetic framework for the Hylocereeae (Cactaceae) and implications for the circumscription of the genera. **Phytotaxa**, 2017.

LI, L.-J. et al. Citrus Taste Modification Potentials by Genetic Engineering. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 24, p. 6194, 2019.

LIMA, C. A.; FALEIRO, F. G.; JUNQUEIRA, N. T. V.; BELLON, G. Avaliação de características físico-químicas de frutos de duas espécies de pitaia. **Revista Ceres**, v. 61, n. 3, p. 377-383, 2014.

LIM, T. K. Edible medicinal and non-medicinal plants. Dordrecht, The Netherlands, **Springer**, v. 1, pp. 656-687. 2012

LI, S. et al. Polystyrene microplastics disturb the redox homeostasis, carbohydrate metabolism and phytohormone regulatory network in barley. **Journal of Hazardous Materials**, v. 415, p. 125614, 2021.

LI, X. et al. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaia (*Hylocereus undatus*) fruit. **LWT**, v. 115, p. 108447, 2019.

LUU, T.-T.-H. et al. Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 39, n. 2, p. 71–94, 2021.

MAGALHÃES, D. S. et al. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 180–186, 2019.

MARTINELLI, M. et al. Post-harvest physiology of pitaia at different ripening stages. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1033–1048, 2021.

MASTER, P. Ampliando horizontes na produção de pitaya: Iluminação LED na Entressafra. **Master Plants**. 2 de abril 2024. Disponível em: <https://masterplants.com.br/ampliando-horizonte-na-producao-de-pitaya-iluminacao-led-na-entressafra/> Acesso em: 03 de mar. 2024.

MORAIS, S. G. G. et al. Effects of probiotics on the content and bioaccessibility of phenolic compounds in red pitaia pulp. **Food Research International**, v. 126, p. 108681, 2019.

MORILLO CORONADO, A. C.; TOVAR LEÓN, Y. P.; MORILLO CORONADO, Y. Caracterización molecular de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw) en la provincia de Lengupá, Boyacá-Colombia. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 11, 2017.

MUNEER S.; KIM, E. J.; PARK, J. S.; LEE, J. H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 3, p. 4657–4670, 2014.

NERD, A.; GUTMAN, F.; MIZRAHI, Y.; Ripening and postharvest behaviour of fruits of two *Hylocereus* species (Cactaceae). **Postharvest Biology and Technology**, 17, 35-45. 1999.

ORTIZ HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO SALAZAR, J. A. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220–237, 2012.

PATIL, P. U. et al. Grading and sorting technique of dragon fruits using machine learning algorithms. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. 100118, 2021.

PAN, R. et al. Piriformospora indica promotes early flowering in *Arabidopsis* through regulation of the photoperiod and gibberellin pathways. **PLOS ONE**, v. 12, n. 12, p. e0189791, 2017.

PANSAL, N.; DETARUN, P.; CHINNAWORN, A.; SANGSUPAWANICH, P.; WICHIENTHOT, S. Effects of dragon fruit oligosaccharides on immunity, gut microbiome, and their metabolites in healthy adults—A randomized double-blind placebo controlled study. **Food Research International**, v. 167, n.1, p. 112657, 2023.

POLTURAK, G.; AHARONI, A. —La Vie en Rose: biosynthesis, sources, and applications of betalain pigments. **Mol. Plant**, v. 11, p. 7–22. 2018.

RODRIGUES, L. J. et al. Physicochemical and chemical modifications of baby pitaya during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 306, p. 111460, dez. 2022.

RONIMUS, R. S.; MORGAN, H. W. Distribution and phylogenies of enzymes of the Embden-Meyerhof-Parnas pathway from archaea and hyperthermophilic bacteria support a gluconeogenic origin of metabolism. **Archaea**, v. 1, n. 3, p. 199–221, 2003.

SADOWSKA-BARTOSZ, I.; BARTOSZ, G. Biological Properties and Applications of Betalains. **Molecules**, v. 26, n. 9, p. 2520, 2021.

SANT'ANNA, V. Tracking bioactive compounds with colour changes in foods e a review. **Dyes and Pigments**, v. 98, p. 601-608, 2013.

SARADHULDHAT, P.; KAEWSONGSANG, K.; SUVITTAWAT, K. Induced off-season flowering by supplemented fluorescent light in dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Journal of ISSAAS International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences**. (Philippines), v. 15, n. 1, 2009.

SILVA, A. C. C. et al. Reproductive phenology of red dragon fruit in Jaboticabal, SP, Brazil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 585-590, 2015.

SINGH, B. et al. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. **Food Chemistry**, v. 261, p. 75–86, 2018.

SOLIS-BADILLO, E. et al. ADP-Glucose Pyrophosphorylase Is Located in the Plastid and Cytosol in the Pulp of Tropical Banana Fruit (*Musa acuminata*). **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 75, n. 1, p. 76–82, 2020.

SONG, Y. H. et al. Photoperiodic Flowering: Time Measurement Mechanisms in Leaves. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, n. 1, p. 441–464, 2015.

SOTOMAYOR CORREA, A. et al. Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. **Enfoque UTE**, v. 10, n. 1, p. 89–96, 2019.

THAIUDOM, S.; OONSIVILAI, R.; THAIWONG, N. Production of colorant powder from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel: Bioactivity, heavy metal contamination, antimutagenicity, and antioxidation aspects. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 1, 2021.

TIAN, X. et al. Identification, evaluation, and innovative utilization of tropical crops genetic resources. **Medical Engineering and Bioinformatics**, v. 19, n. 95. 2014.

TRAN, D. H.; YEN, C. R.; CHEN, Y. K. H. Flowering response of a red pitaya germplasm collection to lighting addition. **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 9, n. 2, p. 175-179, 2015.

TRAN, D. H; YEN, C. R. Morphological characteristics and pollination requirement in red pitaya (*Hylocereus* spp.). **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 8, n. 3, p. 268-272, 2014.

TRINDADE, A. R. et al. Pitaia as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3212, 2023.

UMER, M. J. et al. Identification of key gene networks controlling organic acid and sugar metabolism during watermelon fruit development by integrating metabolic phenotypes and gene expression profiles. **Horticulture Research**, v. 7, n. 1, p. 193, 2020.

VALVERDE, M. Pitaya é introduzida na merenda escola em São Sebastião do Oeste. Iniciativa pode estimular o ingresso de novos produtores no cultivo. **Diário do Comércio. Agronegócio**. 24 de fev. 2024. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/pitaya-introduzida-merenda-escolar-sao-sebastiao-oeste/#gref> Acesso em: 04 de abr. 2024.

VOLP, A. C. P.; RENHE, I. R. T.; STRINGUETA, P. C. Pigmentos naturais bioativos. **Alimentos e nutrição**, v. 20, p. 157-166, 2009.

WALLACE, C.; BOTH, A. J. Evaluating operating characteristics of light sources for horticultural applications. **Acta Horticulturae** 1134, p. 435–444, 2016.

WANG, Meng et al. Light Supplementation in Pitaya Orchards Induces Pitaya Flowering in Winter by Promoting Phytohormone Biosynthesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 9, p. 4794, 2024.

WICHIENTHOT, S.; ISHAK, W. R. B. W. Prebiotics and Dietary Fibers Processing from By-Products Food. **Food Processing By-Products and their Utilization**. 1^a ed. New York: John Wiley & Sons Ltd, 2017.

XIE, F. et al. Metabolic Profiling of Sugars and Organic Acids, and Expression Analyses of Metabolism-Associated Genes in Two Yellow-Peel Pitaia Species. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 694, 2022.

XIONG, R. et al. Transcriptomic analysis of flower induction for long-day pitaia by supplementary lighting in short-day winter season. **BMC Genomics**, v. 21, n. 1, p. 329, 2020.

ZHANG, Z.; XING, Y.; RAMAKRISHNAN, M.; CHEN, C.; XIE, F.; HUA, Q.; CHEN, J.; ZHANG, R.; ZHAO, J.; HU, G.; et al. Transcriptomics-based identification and characterization of genes related to sugar metabolism in 'Hongshuijing pitaya'. *Hortic. Plant J.*, 2021.

ZHAO, J. et al. Parallel Bud Mutation Sequencing Reveals that Fruit Sugar and Acid Metabolism Potentially Influence Stress in *Malus*. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 23, p. 5988, 2019.

ZITHA, E. Z. M. et al. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110611, 2022.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 – ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS AO LONGO DO DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS DE *Selenicereus megalanthus*

Luíz Guilherme Malaquias da Silva ^a. Elisângela Elena Nunes Carvalho ^a.

^a Departamento de Ciências dos Alimentos (DCA), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

(Formatado de acordo com as normas NBR 6022 (ABNT 2018))

RESUMO

A pitaia amarela colombiana (*Selenicereus megalanthus*) é uma cultura emergente com crescente interesse comercial devido ao alto valor nutricional de seus frutos. Contudo, o cultivo da pitaia enfrenta diversos desafios, incluindo suas exigências climáticas e condições específicas de cultivo, cuja alteração pode afetar negativamente o desenvolvimento do fruto. O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações morfológicas, bioquímicas e estruturais da casca e polpa da pitaia amarela colombiana, ao longo do seu desenvolvimento. As pitaias foram colhidas em cinco estádios de desenvolvimento (S1 - imaturo 1; S2 – imaturo 2; S3 - verde-maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - maduro), com base na cor do exocarpo, diâmetro (cm) e firmeza (N). Análises físicas e físico-químicas além da atividade antioxidante, fenólicos, minerais totais e microscopia eletrônica de varredura foram utilizadas para analisar os aspectos fisiológicos ao longo do processo de desenvolvimento. Nesse sentido, houve aumento nos aspectos morfológicos em relação ao S1 e S5 (diâmetro longitudinal de 9,36 para 14,15 cm; transversal do fruto de 4,73 para 8,73 cm), na massa (de 106,2 para 401,57 g) e nos teores de compostos fenólicos e antioxidantes. Dentre os macros minerais encontrados, o P foi o mais abundante (entre 5,69 e 8,12 g kg⁻¹), seguido pelo K, Ca, Mg e S (entre 1,02 e 3,28 g kg⁻¹). Entre os micros minerais, o Fe foi o mais abundante (entre 37,38 e 50,81 mg kg⁻¹) seguido pelo Zn, Mn, Cu, B (entre 0,17 e 45,94 mg Kg⁻¹). Já em relação às enzimas que modificam a parede celular a pectinametilesterase teve maior atividade no S3 (0,746 U g⁻¹ proteína), enquanto a poligalacturonase no S4 (0,155 U g⁻¹ proteína) e a celulase no S5 (0,092 U g⁻¹ proteína), o que pode ser associado ao amaciamento dos frutos nos estádios finais, além dos vestígios de flacidez nas cavidades celulares. A versatilidade do fruto, aliada às suas propriedades nutricionais, faz dele uma excelente opção para o mercado de frutas exóticas. Além de oferecer benefícios à saúde devido às suas propriedades funcionais e nutricionais.

Palavras-chave: Amarela Colombiana; Ponto de colheita; Mudanças estruturais.

ABSTRACT

The Colombian yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) is an emerging crop with increasing commercial interest due to the high nutritional value of its fruits. However, pitaya cultivation faces several challenges, including its climatic requirements and specific growing conditions, the alteration of which can negatively affect fruit development. The objective of this study was to evaluate the morphological, biochemical and structural changes in the peel and pulp of the Colombian yellow pitaya throughout its development. The pitayas were harvested at five development stages (S1 - immature 1; S2 - immature 2; S3 - green-mature; S4 - early ripening; S5 - ripe), based on exocarp color, diameter (cm) and firmness (N). Physical and physicochemical analyses, in addition to antioxidant activity, phenolics, total minerals and scanning electron microscopy were used to analyze the physiological aspects throughout the development process. In this sense, there was an increase in morphological aspects in relation to S1 and S5 (longitudinal diameter from 9.36 to 14.15 cm; transversal diameter of the fruit from 4.73 to 8.73 cm), in mass (from 106.2 to 401.57 g) and in the levels of phenolic compounds and antioxidants. Among the macro minerals found, P was the most abundant (between 5.69 and 8.12 g kg⁻¹), followed by K, Ca, Mg and S (between 1.02 and 3.28 g kg⁻¹). Among the micro minerals, Fe was the most abundant (between 37.38 and 50.81 mg kg⁻¹) followed by Zn, Mn, Cu, B (between 0.17 and 45.94 mg kg⁻¹). Regarding the enzymes that modify the cell wall, pectinmethylesterase had greater activity in S3 (0.746 U g⁻¹ protein), while polygalacturonase in S4 (0.155 U g⁻¹ protein) and cellulase in S5 (0.092 U g⁻¹ protein), which can be associated with the softening of the fruits in the final stages, in addition to traces of flaccidity in the cell cavities. The versatility of the fruit, combined with its nutritional properties, makes it an excellent option for the exotic fruit market. In addition, it offers health benefits due to its functional and nutritional properties.

Keywords: Colombian Yellow; Harvest point; Structural changes

1. INTRODUÇÃO

Originária das Américas, a pitia de casca amarela (*Selenicereus megalanthus*) com espinhos e polpa branca é uma fruta exótica não climatérica. Também conhecida como "pitia amarela colombiana", é pertencente à família Cactaceae e é muito apreciada por seu sabor adocicado e textura suave (CORONADO; TOVAR; CORONADO, 2017). Os frutos maduros possuem formato ovoide e casca, coberta por brácteas e espinhos, facilmente removíveis (RABELO et al., 2018; THAIUDOM et al., 2021; TRINDADE et al., 2023). O período de floração da *S. megalanthus* é mais longo do que de outras espécies, como a *Selenicereus undatus*, mas semelhantemente, a antese ocorre durante a noite com fechamento das flores nas primeiras horas da manhã, e esta não é uma espécie autógama (SANTOS; PIO; FALEIRO, 2022). Entre os países produtores da pitia amarela colombiana, destacam-se Israel, Taiwan e Colômbia (XIE et al., 2022). O tempo das fases fenológicas e o ciclo de produção das pitias diferem conforme a variedade, plantio e o manejo dos cactos e as condições edafoclimáticas (ZHAO et al., 2018; YOUN et al., 2019; CHEN et al., 2023). Apesar de suas características, *S. megalanthus* não é amplamente cultivada como a pitia amarela Golden israelense ou as pitias de casca vermelha.

Da formação ao amadurecimento do fruto, ocorre o acúmulo e transformação da matéria orgânica, em função de uma série de alterações fisiológicas e bioquímicas, que se refletem no apelo sensorial, nutricional e funcional. Os fotossintatos metabolizados pela planta correm pelo floema e entram nas células, como sacarose, alterando seu potencial osmótico, levando à absorção de água, que provoca a expansão do fruto até o ponto de colheita (BARRAGÁN-IGLESIAS et al., 2018).

A firmeza dos frutos está relacionada aos processos metabólicos e às modificações dos constituintes celulares, incluindo membranas, substâncias pécticas, materiais fibrosos e ao teor de água nos tecidos dos frutos, que desempenha um papel crucial na manutenção de sua turgidez e firmeza (SILVA et al., 2023; XIONG et al. al., 2020). A textura da pitia, diretamente relacionada à integridade e composição de sua parede celular, é influenciada por enzimas como pectinase, celulase e hemicelulase, que degradam os componentes estruturais da parede, como pectina e celulose, resultando em maior suavidade e maciez do fruto durante o amadurecimento. Esses processos enzimáticos afetam a rigidez da fruta, e sua intensidade pode ser modulada por diferentes fatores, como a exposição à luz demanda de água, cultivo, estágio de desenvolvimento que também influencia a formação de compostos bioativos, como

flavonoides, betalainas e vitamina C (ZITHA et al., 2022). Esses antioxidantes desempenham um papel importante na proteção contra danos celulares causados pelos radicais livres, além de contribuir para os benefícios à saúde, como a prevenção de doenças crônicas. A relação entre a textura e os compostos bioativos é complexa, já que a degradação da parede celular pode facilitar a liberação e a biodisponibilidade desses compostos, tornando-os mais acessíveis ao organismo. Assim, tanto a textura quanto a atividade antioxidante da pitaya são moldadas por interações entre enzimas e fatores ambientais, impactando diretamente a qualidade sensorial e nutricional do fruto.

Ressalta-se que a disponibilidade adequada de nutrientes, ao longo do desenvolvimento, é fundamental para a produção e construção da qualidade da pitaya (LUU et al., 2021). Por exemplo, o nitrogênio é crucial para o crescimento inicial; o potássio desempenha um papel importante na translocação de carboidratos e na regulação da abertura e fechamento dos estômatos (JOHNSON et al., 2022) e o fósforo é vital na formação das frutas, pois fornece energia como parte do ATP. Esses processos são controlados pela sinalização e replicação celular, promovendo o crescimento dos tecidos dos frutos, com a síntese de ácidos nucleicos sendo um fator chave (BHARGAVA; BANSAL, 2021; COOMBE, 1976; TRIEU; THINH, 2022).

Diversos estudos têm auxiliado a elucidar os mecanismos metabólicos em frutos como a pitaya, potencializando o desenvolvimento de técnicas de armazenamento e conservação, além de proporcionar caminhos para melhoramentos genéticos. Consequentemente, isso minimiza a perda de qualidade, aumentando a vida útil dos frutos e contribuindo para a expansão do mercado internacional. Neste contexto, este estudo, de modo inédito nesta espécie, teve como objetivo compreender os processos fisiológicos e bioquímicos envolvidos na construção da qualidade da *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento em cinco estádios distintos, analisando parâmetros físico-químicos, a constituição mineral, atividade antioxidante e a ação das enzimas de degradação da parede celular.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC). O experimento incluiu três repetições para cada fração da fruta (casca e polpa), com um total de 10 frutos por repetição para cada estágio de desenvolvimento, totalizando 150 frutos ao longo do estudo.

2.2 Material vegetal

Frutos de *S. megalanthus* foram colhidos aleatoriamente em área de produção comercial de dois hectares, no sítio Serra da Soca, localizado no município de Ingaí, estado de Minas Gerais, região sudeste do Brasil (latitude: 21° 24' 24" longitude sul: 44° 56' 30" oeste). Os Espinhos foram removidos por meio do auxílio de escova, cuidadosamente para não causar injúrias aos frutos. É válido ressaltar que nos frutos maduros os espinhos saem com facilidade. Após a colheita, os frutos foram selecionados em relação a sua aparência externa, descartando-se aqueles que apresentavam incidência de patógenos, presença de parasitas e defeitos. Os frutos foram lavados com água corrente e mediante imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1% (75 mL de hipoclorito de sódio em 5 L de água), por um período de 2 minutos e enxaguados com água destilada para remover resíduos do sanitizante e minimizar interferências nas análises subsequentes. Em seguida as pitaias foram secas à temperatura ambiente e classificadas de acordo com avaliação da tonalidade do exocarpo (hue), dimensões (Longitudinal – DL e Transversal - DT e) (cm) e acidez titulável – AT (%) e sólidos solúveis SS (%) do fruto. Os estádios de desenvolvimento (Tabela 1) foram definidos em: S1 - imaturo 1; S2 – imaturo 2; S3 – verde-maturo; S4 - início amadurecimento; S5 – maduro (Figura 1). As frações cascas (mesocarpo e exocarpo) e polpa (endocarpo) foram separadas com colheres de aço inoxidável higienizadas com álcool 70%, acondicionadas em embalagens de polietileno de baixa densidade, e armazenadas em ultrafreezer à -80°C para análises posteriores.

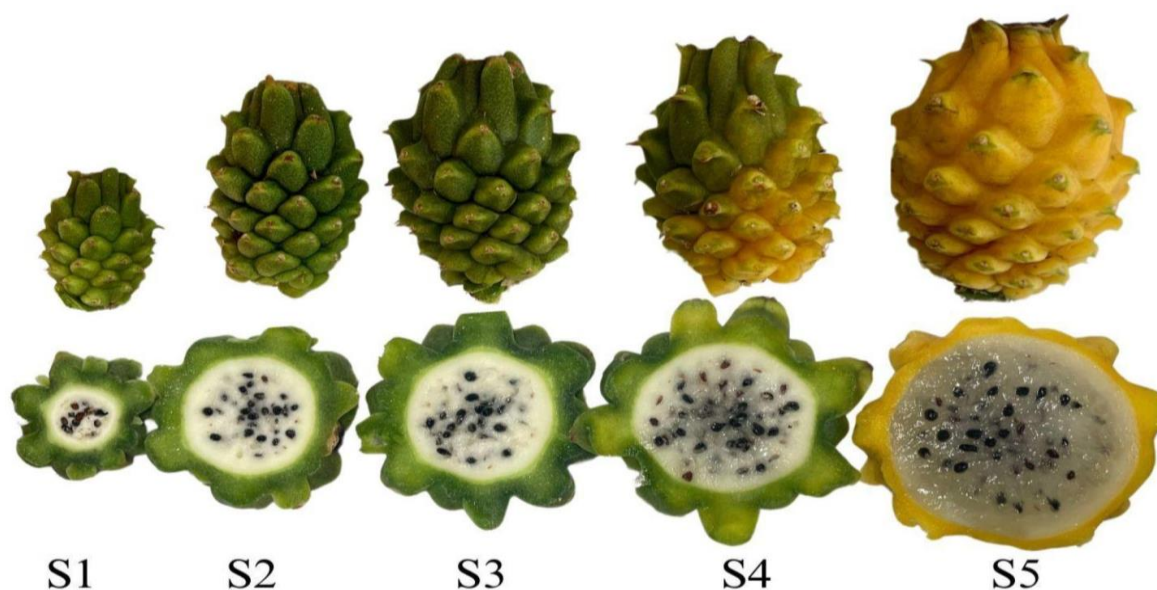
Tabela 1 – Características físico-químicas da *S. megalanthus* em cinco estádios de desenvolvimento.

Código	Estádio	Descrição do estágio de maturidade*
S1	Imaturo 1	hue = 84,48; DL = 9,36; DT = 4,73; AT = 0,83 e SS = 6,34
S2	Imaturo 2	hue = 113,72; DL = 10,53; DT = 6,48; AT = 0,64 e SS = 10,31
S3	Verde-maturo	hue = 115,44; DL = 12,40; DT = 7,86; AT = 0,51 e SS = 13,29
S4	Início do amadurecimento	hue = 112,49; DL = 13,95; DT = 8,61; AT = 0,41 e SS = 16,4
S5	Maduro	hue = 112,31; DL = 14,15; DT = 8,73; AT = 0,28 e SS = 20,4

*Tonalidade da casca (hue), Dimensões (Longitudinal – DL e Transversal - DT e) (cm), acidez titulável – AT (%) e sólidos solúveis SS (%) do fruto. Fonte: (Autores, 2024).

No primeiro estágio, denominado imaturo 1 (S1), o fruto estava próximo do seu estágio inicial de desenvolvimento de formação de frutículos. Nesta fase é perceptível a formação do endocarpo, mesocarpo e exocarpo, com presença de mucilagem. No segundo estágio, denominado imaturo 2 (S2), o endocarpo já se apresentava mais desenvolvido em tamanho e formato, com menor quantidade de mucilagem e dispersão de sementes. No terceiro estágio, denominado Verde maturo (S3), o endocarpo apresentou aumento no tamanho global e na porção do endocarpo. A coloração do exocarpo do fruto ficou evidente no início do amadurecimento (S4), embora já próximo do fruto maduro, ainda apresentava aspecto opaco, sem coloração amarelada uniforme na casca e com menores dimensões. Contudo, esta fase se diferenciou devido à grande produção de sementes e ao característico endocarpo mais gelatinoso. A casca dos quatro primeiros estádios descritos apresentou firmeza pronunciada e alto teor de mucilagem, que diminuiu ao longo dos estádios de desenvolvimento. No último estágio, denominado maduro (S5), a casca apresentou menor densidade, coloração amarelada uniforme e endocarpo gelatinoso (Figura 1).

Figura 1 – Estádios de desenvolvimento da pitaia *S. megalanthus*. S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.



Fonte: Autor (2024).

2.2 Análises

2.2.1 Físicas e físico-químicas

O pH da polpa foi mensurado usando um pHmetro TECNAL®, R-TEC-7-MP (Piracicaba-SP, Brasil). A acidez titulável foi realizada segundo método da AOAC (2019), por titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N usando fenolftaleína como indicador, e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico em massa fresca. Os sólidos solúveis foram obtidos usando um refratômetro digital (ATAGO PR-100, Tóquio, Japão) usando polpa sem diluição, e os resultados foram expressos em porcentagem (%) (AOAC, 2019). A massa dos frutos foi obtida a partir da pesagem em balança analítica (Marte D330, Minas Gerais, Brasil), e os resultados foram expressos em gramas (g). O rendimento da polpa foi calculado pela relação massa de polpa: massa do fruto inteiro, sendo os resultados expressos em porcentagem (%). Para a cor da casca e da polpa de cada cultivar, a avaliação foi realizada em sua região equatorial, usando o colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), empregando o sistema de escala de cores L^* , a^* e b^* , croma (C^*) e ângulo de matiz (h°). A firmeza foi determinada usando um analisador de textura *Stable Micro System* (TA.XT2i), usando uma probe de 2 mm de diâmetro com uma

velocidade de teste igual a 1 mm s^{-1} , a uma distância de penetração de 3 mm, sendo a plataforma HDP/90 utilizada como base, sendo os resultados expressos em Newton (N). As dimensões do fruto, a saber: comprimento, largura, espessura, foram obtidas digitalmente com auxílio do processador *ImageJ* medidas diretamente nas imagens em escala de 1cm e os resultados foram expressos em centímetros (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012).

2.2.2 Perfil de Minerais

Os minerais fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, manganês, zinco e ferro foram determinados segundo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Os resultados dos macronutrientes foram expressos em g kg^{-1} de massa fresca e dos micronutrientes em mg kg^{-1} de matéria fresca. Os valores diários com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8400 kj foram obtidos com base na IN 75/2020 (VD%).

2.2.3 Atividade antioxidante e compostos fenólicos totais

Para a obtenção dos extratos destinados à determinação dos compostos bioativos, 2 g de amostra foram homogeneizados com 20 mL de metanol 50% e submetidos a um banho ultrassônico (Banho Dubdmoff Orbital, Modelo NT 230, Brasil) por 30 minutos. Em seguida, o homogenato foi centrifugado (Hettich - Rotina 380R, Alemanha) por 15 minutos e filtrado utilizando papel de filtro quantitativo de 12,5 cm de diâmetro e porosidade de 0,025 mm. Uma segunda extração foi feita, com 20 mL de acetona 50% sobre o resíduo do filtro, seguido do mesmo processo anteriormente mencionado. Após isso, ambos os extratos foram juntados.

Para determinação da atividade antioxidante duas metodologias foram utilizadas: sistema β -caroteno/ácido linoléico (% proteção) (RUFINO et al., 2010) e complexo fosfomolibdênio (mg de ácido ascórbico g^{-1} de amostra) (PRIETO, PINEDA E AGUILAR, 1999), enquanto os fenólicos totais foram determinados pelo método Fast Blue (MEDINA, 2011), sendo os resultados expressos em mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra fresca. As determinações de atividade antioxidante e fenólicos totais foram realizadas espectrofotometricamente, utilizando-se um leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®).

2.2.4 Atividade de enzimas da parede celular

Para a obtenção do extrato enzimático, pesou-se 10 g de tecido congelado, em seguida foi homogeneizado com 10 mL de tampão Tris-HCL 50 mmol L⁻¹ (pH 7,0). Em sequência a amostra foi centrifugada a uma força relativa de 12 x g (aceleração centrífuga relativa) a 4°C, por 30 minutos. Logo após foi recolhido o sobrenadante (extrato bruto) armazenado à 4° C até a realização das análises. O teor de proteína do extrato enzimático, utilizado para calcular as atividades enzimáticas, foi determinado de acordo com a técnica de Bradford, (1976). Para a determinação pectina metilesterase (PME) utilizou o protocolo de Verma et al. (2015) com as modificações de Carvalho do Lago et al. (2023). Os resultados foram expressos por uma unidade de atividade enzimática (U) definida como sendo a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de grupos carboxílicos por h, por grama de proteína (U g⁻¹ proteína).

Para as determinações das atividades de β-galactosidase (β-gal), celulase (Cx) e poligalacturonase (PG), utilizou a protocolo de Wang et al. (2020) com as adaptações de Carvalho do Lago et al. (2023).

Na determinação da atividade da β-gal, adicionaram-se 75 µL de tampão acetato (pH = 5,5) contendo 0,5% (m/v) de p-nitrofenil-βD galactopiranosídeo a 75 µL do extrato enzimático. Em seguida, incubou a 37°C por 30 min, e interrompeu a reação com adição de 150 µL de solução de Na₂CO₃ (0,2 mol L⁻¹) e realizou a leitura a 400 nm. O branco seguiu esse mesmo protocolo substituindo a amostra por água destilada. Já o controle foi realizado para cada amostra, com 150 µL de solução de Na₂CO₃ (0,2 mol L⁻¹), o tampão isento de substrato e a amostra. A curva padrão nessa determinação foi realizada com nitrofenol (0,004 g/ml). Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como sendo a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de nitrofenol por h, por grama de proteína (U g⁻¹ proteína).

Para a Cx, foi colocado 0,2 mL do extrato bruto enzimático, 0,4 mL em tubos de ensaio, com 0,4 mL de tampão acetato 50 mmol L⁻¹ (pH = 5,5) contendo 1% (p/v) de carboximetilcelulose de sódio, como substrato. Em seguida, incubou as amostras a 37°C por 1h. Adicionou às misturas 0,6 mL de solução DNS (1% 3,5 ácidos dinitrosalicílico e 30% de tartarato de sódio e potássio em 0,4 mol L⁻¹ de NaOH). A reação foi interrompida pela adição dos tubos em banho maria fervente, por 5 min, após o período de incubação. Após o arrefecimento em banho de gelo, as misturas. O branco seguiu esse mesmo protocolo substituindo a amostra por água destilada. E o controle foi realizado para cada amostra, da

seguinte forma: em tubos de ensaio, colocou primeiramente 0,6 mL da solução de DNS, a amostra e o tampão acetato isento de substrato. A curva padrão nessa determinação foi realizada com glicose (0,004 g/mL). Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como sendo a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de açúcares redutores por h, por grama de proteína (U g^{-1} proteína).

Para a determinação da PG, em tubos de ensaio, foi colocado 0,2 mL do extrato bruto enzimático, 0,4 mL de tampão acetato 50 mmol L^{-1} (pH= 5,5) contendo 0,5% (p/v) de ácido poligalacturônico, como substrato. O processo foi o mesmo adotado para a determinação da Cx (WANG et al., 2020). Uma curva padrão de ácido galacturônico (0,008 g/mL), foi utilizada para quantificar. Uma unidade de atividade enzimática (U) foi definida como sendo a quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de ácido galacturônico por h, por grama de proteína (U g^{-1} proteína). Todas as leituras foram feitas em espectrofotômetro (EZ Read 2000, Biochrom®).

2.2.5 Análise Ultraestrutural

Para a análise morfológica da parede celular, partes do exocarpo foram removidas com bisturi e inseridas em microtubos contendo fixador de *Karnovsky* modificado. Em seguida, as amostras foram fraturadas em nitrogênio líquido e submetidas à desidratação em gradiente de acetona, seguida de secagem em aparelho de ponto crítico (Bal-Tec). Então, os corpos de prova foram montados em stubs, submetidos à metalização em aparelho evaporador de ouro (Bal-Tec) e observados em microscópio eletrônico de varredura (MEV) (LEO EVO 40 XVP).

2.3 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade quando necessário para comparar possíveis diferenças significativas, utilizando o software Sisvar versão 5.6 (FERREIRA, 2011). A análise de correlação com agrupamento hierárquico e visualização com mapa de calor dos coeficientes de correlação foram executadas usando o software estatístico JMP 10 (SAS Institute Inc, EUA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características morfológicas e físico-químicas

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam alterações significativas ($p < 0,05$) nas características morfológicas, de atividade respiratória, físicas e físico-químicas de frutos de *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

Tabela 2 – Características morfológicas e físico-químicas: pH, L, C, °hue, massa (g); Rendimento dos frutos (%), L, C, °hue, firmeza (N), diâmetro longitudinal e transversal e espessura do exocarpo (cm) de frutos de *S. megalanthus*.

Estádio*	S1	S2	S3	S4	S5	CV (%)
pH	3.05e**	3.49d	3.70c	4.04b	4.67 ^a	2.01
L* (Casca)	49.80a	36.82b	27.29c	29.34c	35.26b	11.09
C* (Casca)	44.87a	26.11b	21.57bc	18.61cd	16.43d	13.42
L* (Polpa)	70.97a	69.42a	68.75a	62.95ab	53.46b	11.61
C* (Polpa)	11.34a	11.25ab	11.18ab	11.09ab	8.56 ^a	18.67
Hue (Polpa)	94.00ab	92.18b	93.01ab	95.37a	91.87b	2.98
Massa (g)	106.82e	227.13d	303.14c	387.87b	401.57 ^a	1.24
Rendimento (%)	31.16d	45.32c	47.42bc	50.17b	72.43 ^a	3.08
Diâmetro longitudinal (cm) (Polpa)	2.46d	3.42c	4.54b	4.33b	5.69 ^a	8.01
Diâmetro transversal (cm) (Polpa)	2.30c	3.44b	3.97b	4.31b	5.70 ^a	8.70
Espessura do exocarpo (cm)	1.16a	0.99a	0.96a	0.89a	0.68a	28.62
Firmeza (N) (Casca)	89,41a	88,03a	80,11b	78.09b	54.45c	7.79
Firmeza (N) (Polpa)	4.75a	4.66a	2.88b	2.54b	2.23b	14.54

* Estádio: S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.

**Ns: Médias seguidas de letras iguais na mesma linha não diferem entre si para o teste de Tukey ($p > 0,05$), respectivamente.

Conforme demonstrado neste estudo, ocorreu o aumento significativo ($p < 0,05$) do pH ao longo do desenvolvimento da *S. megalanthus*. Este fato é comumente atribuído à diminuição ou aumento da quantidade de íons hidrogênio provenientes de ácidos orgânicos, que são consumidos no processo respiratório (BARRAGÁN-IGLESIAS et al., 2018; LAHBIB et al.,

2023). Resultados semelhantes foram destacados para o pH em *Hylocereus polyrhizus* com variações entre 3,63 e 4,48 ao longo do seu desenvolvimento (MAGALHÃES et al., 2019).

A acidez diminuiu de 0,83 (S1) a 0,28 (S5), e o teor de sólidos solúveis da pitia oscilou entre 6 e 20%. Wanitchang et al. (2010) observaram que pitias de polpa vermelha na Malásia atingiram uma acidez inferior a 1% e um teor máximo de sólidos solúveis de 15,3% no estágio de maturação que ocorreu entre 28 e 30 dias após a antese. Cedeño et al. (2019) avaliaram a qualidade pós-colheita da pitia *S. undatus* (Haw.) Britton e Rose em três estádios de desenvolvimento após a polinização e em plena maturidade, em que foi observado um valor de 0,60% para a acidez expressa como ácido málico. O teor de acidez da *S. megalanthus* está diretamente relacionado às suas características fenológicas e desempenha importante contribuição para o sabor deste fruto. Segundo Arivalagan et al. (2021), a acidez titulável inferior a 1% favorece a percepção de doçura da fruta. Esse fenômeno ocorre porque a baixa acidez, ao não sobrepor a concentração de açúcares da polpa, contribui para um sabor mais suave e equilibrado. A interação entre acidez e sólidos solúveis é determinante para a aceitação da fruta, uma vez que a doçura se torna mais pronunciada em frutas com menor acidez. Já o aumento do teor de sólidos solúveis indica que, durante o amadurecimento dos frutos, há um aumento deste componente devido à degradação dos polissacarídeos. Xie et al. (2022), destacaram em seu estudo ao longo do desenvolvimento das pitias *S. megalanthus* e Golden israelense que o amido foi acumulado principalmente nos estádios iniciais e transferido para açúcares solúveis no S5, no qual seis componentes de açúcares foram determinados (glicose, sacarose, frutose, galactose, inositol e sorbitol). A variação no teor de sólidos solúveis da pitia é dependente do estágio de maturação e das condições edafoclimáticas de cultivo (LI et al., 2018; ORTIZ; TAKAHASHI, 2015; WEI et al., 2019). Quando comparadas com as pitias de polpa vermelha madura (10,21 e 13,3%), a pitia amarela possui maiores variações de sólidos solúveis (XIE et al., 2022), valor vinculado a cultivar, sendo a pitia amarela (*S. megalanthus*) considerada mais doce que a pitia vermelha (*H. polyrhizus*).

A maior claridade (L*) foi evidente na fase inicial na casca, seguida de uma diminuição gradual até a fase do início do amadurecimento (S4). Geralmente este processo ocorre na maior parte dos frutos ao longo do seu desenvolvimento. No maracujá amarelo há aumento progressivo da claridade da casca, enquanto frutas como banana e mamão tem redução neste parâmetro à medida que amadurecem (SARRA et al., 2021). Apesar das características fenotípicas das pitias, à medida que as frutas amadurecem, a cor pode escurecer devido ao

acúmulo de pigmentos como as betaxantina para as pitaias amarelas Colombiana e Golden israelense (MIZRAHI, 2015; OLIVEIRA et al., 2020). Esses pigmentos são responsáveis pelas alterações de cor das pitaias e podem torná-las mais escuras.

De maneira semelhante ao observado com a claridade, o presente estudo aponta para uma diminuição na intensidade da cor dos frutos ao longo do desenvolvimento, os valores médios da variável apresentaram redução de 44,87 (S1) para 16,43 (S5) para a casca e 11,34 (S1) para 8,56 (S5) para a polpa. Esta diminuição pode estar correlacionada diretamente com as características da própria cultivar, tendo em mente que, à medida que o fruto amadurece, há uma maior proliferação de óvulos fertilizados, o que resulta na formação de mais sementes da pitia que são envoltas em uma mucilagem que conseqüentemente, contribuem com uma polpa mais gelatinosa tencionando para uma coloração mais intensa, o que pode justificar a diminuição da variável no endocarpo do fruto (MORAIS et al., 2021; TRINDADE et al., 2023). Já na casca da pitia, a diminuição da intensidade além da influência da variedade genética, pode estar atrelada a respostas a condições ambientais que podem influenciar a diminuição (NERD, 1998; JIANG et al., 2011; RABELO et al., 2020).

O ângulo hue, que está relacionado com a tonalidade, aumentou de 84,48 a 115,44 entre os estádios imaturo 1 e maduro. A *S. megalanthus* possui alto teor de betaxantinas, que são os pigmentos responsáveis por cores amareladas e alaranjadas. Durante o processo de amadurecimento dos frutos, os cromoplastos e suas membranas tilacoides se desintegram, resultando na rápida degradação da clorofila e na subsequente perda da cor verde nos tecidos (ZHANG et al., 2019). A transição de cor do verde para o amarelo no início do amadurecimento (S4), o que pode indicar que este estágio é fundamental para a mudança de pigmentação da casca, pois há uma acentuada degradação da clorofila concomitantemente à intensificação da produção dos pigmento que compõem o grande grupo de betaxantina, como a vulgaxantina I e II, miraxantina I e II, portulacaxantina, indicaxantina, tirosina-betaxantina, glutamina-betaxantina entre outras (ILAHY et al., 2019; MATHIAZHAGAN et al., 2021).

As variáveis massa, diâmetro longitudinal e transversal da polpa e rendimento dos frutos apresentaram aumento progressivo entre os estádios imaturo 1 e maduro de *S. megalanthus*, em 106,2 para 401,57 g; 2,46 a 5,70 N; 2,31 a 5,71 N; e 31,11 a 72,44%, respectivamente, com diferenças significativas ($p < 0,05$). Ao investigarem a pitia amarela Golden, Oliveira et al. (2021) registraram comprimentos e diâmetros da polpa da fruta madura de 9,86 e 6,37 cm,

respectivamente. Em frutos carnosos como a pitiaia, a mitose é frequentemente seguida por significativa expansão celular, acúmulo de compostos orgânicos e absorção de água, fatores que influenciam diretamente o tamanho do fruto (TAYZ et al., 2015). Diferente da cultivar em estudo, Jamaludim, Ding, Hamid, (2010), destacaram a correlação da inclinação gradual de crescimento do comprimento e diâmetro após a uniformização das betalainas, observadas aos 30 dias após a antese para a *H. polyrhizus*.

Por outro lado, houve redução na espessura do exocarpo do fruto, de 1,16 cm (S1) para 0,68 cm (S5), e na firmeza da casca de 94,75 N (S1) para 56 N (S5) e da polpa de 4,75 N (S1) para 2,23 N (S5). A cultivar *S. megalanthus* possui polpa menos firme em comparação a outras cultivares, com aspecto gelatinoso. Na literatura é destacado que a pitiaia Golden israelense tem firmeza da polpa entre 5,89 e 6,3 N (YAH et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2021). O amaciamento dos tecidos é uma ocorrência comum durante o processo de amadurecimento de frutos carnosos, devido à conversão de compostos presentes na parede celular, como celulose, hemicelulose e pectina, em compostos solúveis em água, juntamente com a perda de água (ARIVALAGAN et al., 2021; OSORIO; FERNIE, 2013). A firmeza do fruto é influenciada principalmente pela tensão das células constituintes e pela integridade da parede celular (PC), sendo as alterações na estrutura da parede um fator crucial e natural no processo de amaciamento do fruto (MOHAMMAD; DING, 2019).

Além dos fatores anteriores, a mudança na constituição química devido ao acúmulo de etileno e a conversão dos açúcares como amido em monossacarídeos, corroboram para a diminuição da firmeza (XIE et al., 2022). A conversão dos polissacarídeos resulta no aumento das concentrações de diversos açúcares, como por exemplo a frutose e a glicose, o que está ligado à degradação de componentes estruturais na PC, como substâncias pécticas. Esse processo leva ao amaciamento da polpa, culminando na perda de firmeza característica das pitaias em estágio avançado de maturação assim como no amadurecimento.

3.2 Perfil de minerais

Embora encontrados naturalmente em pequenas quantidades, o conjunto dos sais minerais conferem peculiaridades importantes quanto à percepção do sabor de vegetais. Conforme observado por Serafim (2020), a pitiaia possui um teor considerável de minerais, como potássio, cálcio e ferro, que desempenham papéis fundamentais no bom funcionamento do organismo (GODSWOLL et al., 2020; WEYH et al., 2022). Nesse sentido, foram observadas

aumento nas concentrações de seis macrominerais (P, Ca, K, Mg e S) e cinco microminerais (B, Cu, Mn, Zn e Fe), ao longo do desenvolvimento de *S. megalanthus* (S1 e S5). O potássio foi o mineral mais abundante na casca do fruto (entre 32,87 e 36,78 g kg⁻¹), seguido do cálcio (entre 7,23 e 16,29 g kg⁻¹), magnésio (entre 3,61 e 5,21 g kg⁻¹), fósforo (entre 1,63 e 3,18 g kg⁻¹) e enxofre (entre 1,14 e 2,36 g kg⁻¹). Semelhante à fração casca, maiores teores de potássio foram observados na polpa (entre 5,69 e 8,12 g kg⁻¹), seguido do magnésio (entre 1,74 e 3,02 g kg⁻¹), cálcio (entre 1,49 e 3,28 g kg⁻¹), fósforo (entre 1,40 e 1,97 g kg⁻¹), e enxofre (entre 1,02 e 1,45 g kg⁻¹).

O equilíbrio entre esses constituintes minerais é relevante, pois níveis excessivos de K podem interferir na absorção e mobilização do Ca, o que comprometeria a qualidade estrutural da pitiaia (COOMBE et al., 1976). O K também desempenha um papel fundamental na regulação osmótica, na translocação de carboidratos e na abertura e fechamento dos estômatos (JOHNSON et al., 2022). O Ca é um elemento necessário para a formação da parede celular vegetal e para a manutenção da integridade estrutural de frutos (CAJAZEIRA et al., 2018). A diminuição da concentração de cálcio do amadurecimento para a fruta madura pode estar associada com as atividades das celulasas e pectinases (PME e PG).

O teor de microminerais também apresentou aumento ($p < 0,05$) ao longo do desenvolvimento, sendo que o ferro apresentou a maior concentração (entre 57,72 e 76,98 mg kg⁻¹) na fração casca da fruta madura, seguido pelo manganês (entre 16,73 e 36,90 mg kg⁻¹), zinco (entre 13,12 e 19,03 mg kg⁻¹), cobre (entre 2,16 e 13,43 mg kg⁻¹) e boro (entre 3,20 e 4,69 mg kg⁻¹). Na fração polpa, o ferro também se destacou como o mineral majoritário (entre 37,38 e 50,81 mg kg⁻¹), seguido pelo zinco (entre 17,12 e 45,94 mg kg⁻¹), manganês (entre 2,20 e 7,86 mg kg⁻¹) e cobre (0,17 e 2,52 mg kg⁻¹). Assim sendo, em ambas as frações casca e polpa os micronutrientes mais abundantes foram ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn) que são cruciais em diferentes vias metabólicas, como na síntese de clorofila e a proteção contra o estresse oxidativo (WANG et al., 2023).

Com base em valores diários de uma dieta de 2000 kcal, a ingestão de 100 g de pitiaia amarela colombiana pode fornecer aproximadamente 28% de P, 15% de K, 13% de Ca, 35% de Mg, 2% de Cu, 26% de Mn, 11% de Zn e 4% de Fe de acordo com a Instrução Normativa IN 75/2020 (BRASIL, 2020). Esta rica composição pode trazer diversos benefícios à saúde aos consumidores da pitiaia devido às funções específicas de cada mineral. O fósforo contribui para

o crescimento e modificações celulares, além de promover a manutenção e reparação celular (GHARIBZAHEDI; JAFARI, 2017). O enxofre ajuda a reduzir o estresse oxidativo (HEWKLINGS; KALMAN, 2019), o cobre diminui o risco de doenças de Menkes (AVRAM; CARAGEA; VARZARU, 2021) e o manganês contribui com o catabolismo de carboidratos e a manutenção de órgãos vitais (GANDHI et al., 2018). O zinco auxilia na cicatrização de feridas, na síntese de proteínas e função imunológica (YOUNAS et al., 2023). Portanto, o consumo desta fruta pode ser uma valiosa fonte de minerais que contribuem para a promoção da saúde e do bem-estar dos consumidores.

3.3 Fenólicos totais, atividade antioxidante e enzimas da parede celular

Na Tabela 3 pode ser observado os teores de compostos fenólicos totais (CFT) e a atividade antioxidante pelo método e complexo fosfomolibdênio (CF) e sistema β -caroteno/ácido linoleico (β -car/ÁL) da *S. megalanthus* durante o seu desenvolvimento tanto para a fração casca como para a fração polpa.

Tabela 3 – Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante da pitiaia *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

Estádio*	S1	S2	S3	S4	S5	CV (%)
CFT Casca (GAE mg 100 g ⁻¹)	139.33e*	179.39d	211.39c	304.79b	334.80a	5.43
CFT Polpa (GAE mg 100 g ⁻¹)	101.07e	139.74d	178.88c	302.43b	347.63a	4.66
CF Casca (AA mg 100 g ⁻¹)	568.87cb	459.68c	584.07cb	590.54b	1108.41a	14.52
CF Polpa (AA mg 100 g ⁻¹)	345.39b	281.10c	290.83c	311.49ab	421.84a	8.41
β -car/ÁL Casca (% de proteção)	74.08b	77.39ab	77.20ab	80.64ab	83.15a	7.33
β -car/ÁL Polpa (% de proteção)	48.40d	71.92c	78.77cb	80.79ba	87.05a	7.97

* Estádio: S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.

**Ns: Média e desvio padrão seguido de letras iguais na mesma linha não diferem entre si para o teste de Tukey ($p>0,05$), respectivamente.

Após a formação do fruto a partir do ovário da flor da pitiaia, ocorre a biossíntese de diversos metabólitos secundários, incluindo a síntese e acumulação de compostos fenólicos (CF), que são essenciais para a constituição de compostos derivados importantes para o

desenvolvimento do fruto (HU et al., 2022; MAI; TRAN; LE, 2022). Os CF apresentam uma extensa gama de metabólitos provenientes da rota biossintética dos fenilpropanoides e exercem funções críticas variadas em muitos processos, como na proteção contra a oxidação, atuação como barreiras naturais reduzindo a vulnerabilidade das frutas a infecções fúngicas e bacterianas, e na determinação da qualidade da fruta, devido às suas propriedades anti-inflamatórias, cardioprotetoras e redução de risco de doenças crônicas (ZITHA et al., 2022; DA COSTA et al., 2024). O teor de CF impacta diretamente as características antioxidantes e a proteção contra estresses bióticos ou abióticos. Observou-se que durante o desenvolvimento de *S. megalanthus*, o teor de fenólicos totais variou de 139,33 (S1) a 334,80 (S5) mg GAE 100 g⁻¹ para a casca e 101,07 (S1) a 347,63 (S5) mg GAE g⁻¹ para a polpa.

Ao longo do desenvolvimento, existe uma possível associação com a polimerização dos taninos e a consequente redução da adstringência de alguns frutos (SHI et al., 2023). De acordo com a Tabela 3, ocorreu o aumento progressivo dos compostos fenólicos ao longo do desenvolvimento de *S. megalanthus* para as frações casca e polpa, indicando a síntese ou acúmulo de novos compostos fenólicos, apresentando uma resposta metabólica complexa que pode estar associada a adaptações ambientais ou demandas específicas inerentes ao desenvolvimento do fruto (LAHBIB et al., 2023). Os valores encontrados neste estudo são inferiores aos encontrados por Zitha et al. (2022) para polpa de pitaia vermelha *H. polyrhizus*, que variou de 377,59 a 434,26 mg GAE g⁻¹ durante 42 dias após a antese. Porém, os mesmos autores em seu estudo relataram que além do aumento da atividade antioxidante ao longo do desenvolvimento, houve aumento dos fenólicos totais por diferentes métodos. A composição de CF pode ser atribuída a diversos fatores, quando comparados com os dados disponíveis na literatura pode ser atribuída a diversos fatores como validação analítica, cultivares e diferentes cultivos. A inclusão da *S. megalanthus* na dieta humana demonstra potencial para promover atividades biológicas benéficas à saúde, além de contribuir para a prevenção de doenças.

A atividade antioxidante e os teores de CFT variaram significativamente ($p < 0,05$) em função da interação entre fração do fruto e estágio do desenvolvimento (Figuras 2). Os resultados mostraram uma proteção variando de 74,08% (S1) a 83,15% (S5) na fração casca e de 48,40% (S1) a 87,05% (S5) na fração polpa, em relação à inibição dos radicais livres formados durante a peroxidação do ácido linoleico, conforme detectado pelo método do β -caroteno/ácido linoleico. Os valores de atividade antioxidante medidos pelo método do complexo de fosfomolibdênio aumentaram estatisticamente ($p < 0,05\%$) durante o

desenvolvimento de *S. megalanthus* de 568,87 mg 100 g⁻¹ (S1) para 1108,41 mg 100 g⁻¹ (S5) para a casca e 345,39 mg 100 g⁻¹ (S1) para 421,84 mg 100 g⁻¹ (S5) para a polpa. Este estudo revela que *S. megalanthus* pode ser considerado uma fruta com alta atividade antioxidante pelo método β -caroteno/ácido linoleico, pois possui capacidade protetora superior a 70% (MARCOLINO et al., 2024; RUFINO et al., 2010). Além deste, pelo método de complexo de fofomolibdênio, cujo princípio se baseia na redução do íon molibdênio ao estado de oxidação (GULCIN, 2020), o fruto é indicado com uma alta atividade antioxidante. O maior teor de atividade antioxidante destacado na casca por ambos os métodos pode ser explicado pela síntese das betaxantinas, que além de atribuir a cor característica das pitaias amarelas possuem propriedades antioxidantes (XIE et al., 2022).

Tabela 4 – Atividade das enzimas modificadoras de parede celular da pitiaia *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

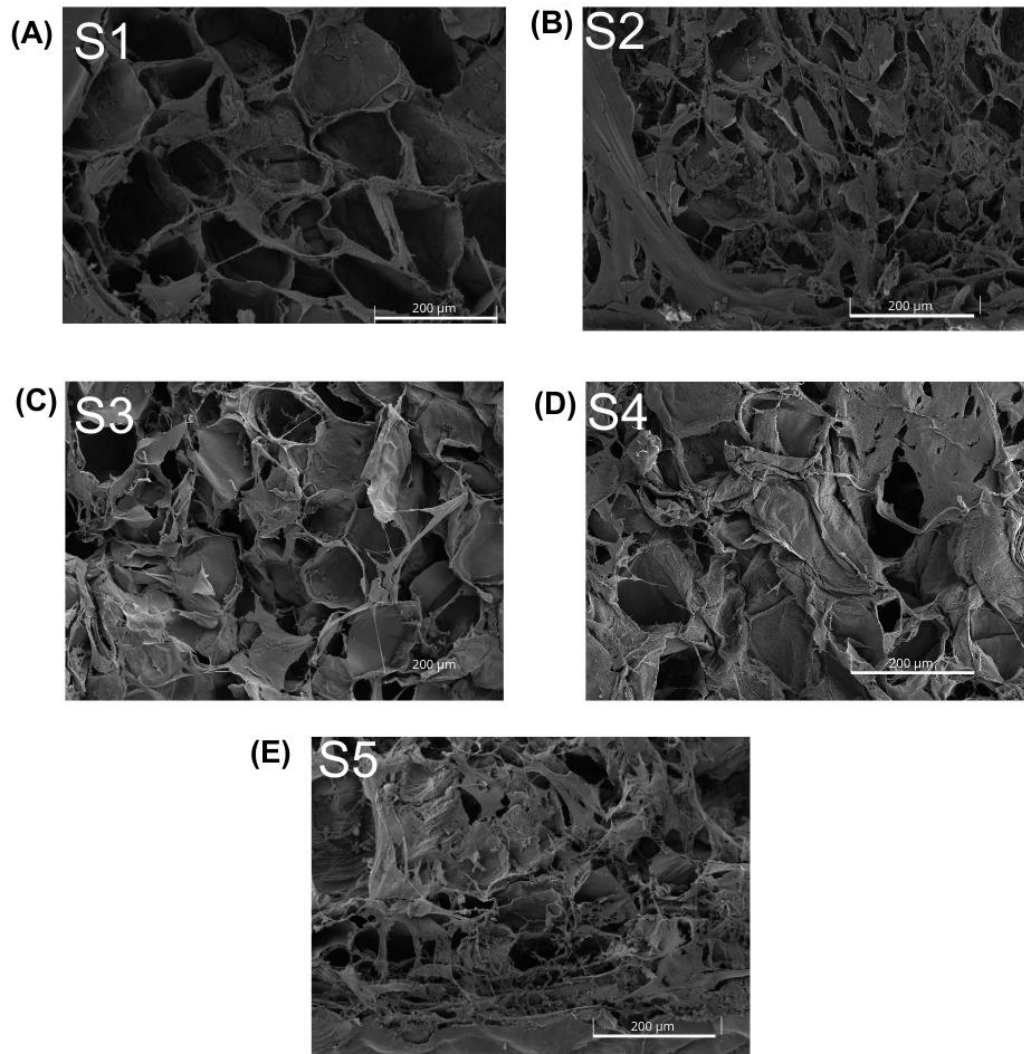
Estádio	S1	S2	S3	S4	S5	CV (%)
β -gal (U g ⁻¹ proteína)	0.0015a	0.0008a	0.0011a	0.00142a	0.00085a	12.35
Cx (U g ⁻¹ proteína)	0.0100b	0.0047b	0.0068b	0.0606ab	0.0923a	13.09
PME (U g ⁻¹ proteína)	0.0046b	0.0096b	0.7466a	0.0300ab	0.0110b	11.46
PG (U g ⁻¹ proteína)	0.0294c	0.0784b	0.0876b	0.1551a	0.1393a	15.92

* Estádio: S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.

**Ns: Média e desvio padrão seguido de letras iguais na mesma linha não diferem entre si para o teste de Tukey (p>0,05), respectivamente.

As micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) auxiliam na compreensão visual das modificações estruturais da parede celular vegetal decorrentes da ação das enzimas de degradação das redes poliméricas de polissacarídeos estruturais. Na Figura 2 são apresentadas as eletromicrografias obtidas da casca dos frutos nos cinco estádios de desenvolvimento.

Figura 2 – Micrografias da parede celular da casca de *S. megalanthus* em diferentes estádios de desenvolvimento da pitaya. Estádio: S1 - Imaturo 1; S2 – Imaturo 2; S3 - Verde maturo; S4 - início amadurecimento; S5 - Maduro.



Fonte: Autores (2024).

É possível observar uma alta relação entre o comprimento, dimensões do fruto e o diâmetro do exocarpo. De forma semelhante, Jamaludim, Ding; Hamid, (2010), ao estudarem pitaias, destacaram que antes dos 10 dias após a antese, o crescimento do comprimento do fruto foi mais rápido do que o diâmetro, resultando em frutos oblongos e menos redondos, já durante o amadurecimento até a maturidade completa as dimensões do fruto excederam o comprimento.

Enzimas como β -gal, Cx, PME e PG desempenham um papel central na degradação dos componentes da parede celular (CARVALHO DO LAGO et al., 2023), e todas apresentaram atividade ao longo de todo o desenvolvimento da *S. megalanthus* (Tabela 4). A partir disso, este

estudo destacou oscilação na atividade de β -gal ao longo do desenvolvimento, entretanto não houve diferenças significativas ($p < 0,05\%$). A β -gal desempenha um papel crítico na bioquímica da parede celular, relacionada à glicosidase. Sua especificidade envolve a hidrólise de açúcares ligados a resíduos de galactose, que estão presentes nos polissacarídeos, hemiceluloses e pectinas (PAN et al., 2021). Nesse sentido, este estudo permite pressupor que houve despolimerização de arabinogalactanas, galactomananas e galactanas, e interações como ramnogalacturonanas independente do estágio (CHEN; QIN; TIAN, 2020; LIU et al., 2021; WANG et al., 2023).

A Cx, contribui também com o amaciamento dos tecidos, tornando-os mais flexíveis devido à quebra das fibras de celulose, contribuindo com a mudança na textura do fruto (GAO et al., 2020; LIU et al., 2020). Neste sentido, a atividade da Cx variou entre 0,01 e 0,068 U g⁻¹ proteína ($p < 0,05\%$) ao longo do desenvolvimento, e sua atividade resulta em pitaias mais suculentas e menos fibrosas. O primeiro estágio (S1) revelou quantidade significativamente menor de atividade de Cx (0,01 U g⁻¹ proteína) em relação aos estádios S2 e S3 anteriores ao amadurecimento (S2 de 0,0044; S3 de 0,0068 U g⁻¹ proteína), por outro lado, a atividade da Cx foi mais evidente a partir do início do amadurecimento (S4 0,60 U g⁻¹ proteína) e no estágio subsequente (S5 0,015 U g⁻¹ proteína), indicando um papel crucial na degradação das paredes celulares nos estádios finais do desenvolvimento. Neste sentido, no início do amadurecimento, é evidente que o pico da atividade contribui facilitando a troca de gases e a transpiração da pitaiá devido a facilitação da permeabilidade e no amaciamento da casca do fruto.

A PME teve aumento de atividade ao longo do desenvolvimento do fruto ($p < 0,05\%$) variando de 0,0046 (S1) a 0,0743 (S3) U g⁻¹ proteína. Como as outras enzimas, a PME demonstrou atividade enzimática, com pico no estágio verde maturo (S3), esta enzima catalisa a hidrólise de grupos éster metílico presentes em homogalacturonanos, logo, esta pectinase possui ação desesterificante facilitando assim a atividade da PG (CHYLIŃSKA et al., 2017). Que resulta na exposição dos constituintes do ácido galacturônico como os grupos carboxílicos que compõem as pectinas (BUESCHER, 1978; CHEA et al., 2019). Dessa forma a PG desempenha um papel crucial na degradação da parede celular, catalisando com eficiência a hidrólise das ligações glicosídicas do ácido poligalacturônico. Dentre todas as atividades enzimáticas analisadas, a PG foi a enzima que mais demonstrou atuação ao longo do desenvolvimento. Sua atividade foi crescente (S1: 0.0294; S3: 0.0876 U g⁻¹ proteína) até o início do amadurecimento, onde concentrou-se o pico da sua atividade (S4: 0,1551 U g⁻¹

proteína). No fruto maduro (S5) houve diminuição ($0,1393 \text{ U g}^{-1}$ proteína), porém, sua atividade demonstra que ainda ocorre a degradação da pectina de modo mais moderado.

No estágio imaturo 1 (Fig. 2A), a parede celular apresenta formato celular regular e bem definido e maior grau de preservação em termos de integridade em comparação aos demais estádios. Além disso, foi observado que o lúmen celular possui células mais espessas em comparação com os demais estádios. De acordo com Chea et al., (2019), os feixes vasculares são altamente ativos nos estádios iniciais, fornecendo água e nutrientes, e à medida que as frutas se desenvolvem, ocorre a divisão celular seguida da expansão celular devido ao acúmulo de reservas. Para isto o xilema transporta água e minerais, enquanto o floema conduz os carboidratos e outros solutos essenciais. Já a degradação da parede celular durante o desenvolvimento do fruto, até a senescência, é caracterizada predominantemente pela despolimerização de polissacarídeos, resultando em um aumento na solubilidade desses compostos (CHYLÍŃSKA et al., 2017).

Ao longo do desenvolvimento, foi observada a perda da forma celular regular e vestígios de rompimento dos vacúolos se intensificando a partir do estágio verde maduro (Fig 2S3), enfraquecimento com aspecto enrugado (S4) da parede celular e deformação significativa do formato celular (S5). Uma vez rompida a organização, ocorre perda de rigidez e resistência da parede celular, que estão diretamente interligadas com as propriedades mecânicas, permeabilidade e função fisiológica das células, influenciando aspectos importantes como crescimento, desenvolvimento e resposta a estímulos ambientais (TAYZ et al., 2015).

3.4 Correlações entre as variáveis físicas, físico-químicas e bioquímicas ao longo do desenvolvimento

A correlação é fundamental para a compreensão da distribuição espacial das variáveis em estudo, podendo fornecer informações sobre alterações morfológicas e bioquímicas e dinâmica estrutural, entre outros fenômenos relacionados ao período de desenvolvimento dos frutos de *S. megalanthus*. A autocorrelação espacial é representada em função da distância ou intervalo espacial. Neste sentido, em relação a cor, correlações fortes e positivas foram observadas (Apêndices - Tabela 1), entre as variáveis L^* C^* da casca (0,88) e da polpa (0,93) da pitia em estudo ($p < 0,05$). Isso indica que à medida que o fruto se tornou mais escuro, apresentou uma cor mais intensa tanto na casca quanto na polpa. Essa informação pode auxiliar

os produtores em relação ao desenvolvimento da coloração do *S. megalanthus* durante a maturação, o que é relevante para a percepção visual e o apelo ao consumidor.

Observa-se que, conforme a fruta cresce, há uma forte correlação (valores próximos de 1) entre o aumento da massa e o crescimento proporcional dos diâmetros longitudinal e transversal, tanto da fruta quanto da polpa ($p < 0,05$). Além disso, essa correlação estatisticamente significativa também se estende ao teor de sólidos solúveis, pH e ao rendimento da fruta em relação à polpa. Portanto, conforme a pitiaia tem aumento de peso, também há aumento de tamanho, de forma equilibrada em ambas as dimensões, além do teor de sólidos solúveis e pH, que consequentemente correlacionaram negativamente com a diminuição da acidez ($p < 0,05$). Por último, a correlação com o rendimento da fruta em relação à polpa indica que o aumento da massa da fruta está associado a uma proporção maior de polpa em relação ao peso total.

Na fração casca, correlações fortemente positivas foram observadas entre Cu e K (0,90), Mg e Ca (0,98) ($p < 0,05$) e Mn com S (0,98) ($p < 0,01$). Estas correlações indicam que ao longo do desenvolvimento, o comportamento desses minerais é similar, e à medida que há aumento na concentração de um destes minerais, a concentração do outro aumenta concomitantemente, o que pode refletir uma sinergia favorável entre os elementos na absorção, transporte ou acumulação até o ponto de colheita da pitiaia.

Ainda que haja naturalmente uma relação de cooperação ou interação durante a dinâmica estrutural da parede celular vegetal, as enzimas não apresentaram correlação estatisticamente significativas entre si ($p < 0,05$).

Correlações positivas foram observadas entre as pectinases com alguns parâmetros físicos da fruta, porém apenas a atividade da PG com os diâmetros longitudinal (0,95) e transversal (0,94) ($p < 0,05$) e a massa (0,97) ($p < 0,01$) da *S. megalanthus* foram significativas. Esses resultados indicam que o aumento da atividade da enzima está associado a um crescimento proporcional nas dimensões, bem como na massa do fruto, com correlações bastante elevadas (valores próximos de 1). A correlação positiva (0,93) entre a espessura e a firmeza da casca ($p < 0,05$) indica que, durante o desenvolvimento da pitiaia, a casca perde resistência e se torna mais fina de maneira simultânea e proporcional. E em relação aos compostos bioativos, a correlação positiva entre os fenólicos totais e a atividade antioxidante, avaliada pelo método β -caroteno/ácido linoleico na casca de *S. megalanthus*, indica que o

aumento no CFT está associado a uma elevação na capacidade antioxidante. Vale destacar que diferentes compostos fenólicos, possuem propriedades antioxidantes, e uma maior concentração desses compostos tende a aumentar a capacidade de neutralização de radicais livres, refletindo em um potencial antioxidante mais elevado na casca da fruta.

Os resultados deste estudo apontam correlações relevantes na polpa de *S. megalanthus*, evidenciando interações essenciais entre variáveis analisadas (Apêndices - Tabela 3). Dentre essas correlações, destacam-se aquelas que relacionam a relação direta entre os componentes da polpa e o desenvolvimento do fruto, influenciando diretamente sua qualidade final. Assim, correlações fortes e positivas (acima de 0,90) entre o Mn com Zn, Fe e o teor de CFT ($p < 0,05$), foram observadas na polpa dos frutos (Apêndices - Tabela 3). A correlação entre o Mn com o Zn pode estar atrelada a demanda nutricional paralela, à medida que ocorre a maior presença de um reflete na maior necessidade do outro, além da sua utilização conjunta em vias bioquímicas como na síntese de proteínas, compostos antioxidantes e metabólitos secundários (HUANG et al., 2023). Já o Mn com o Fe, pode ser devido a demanda do fruto em relação a produção de energia e na proteção contra danos oxidativos, uma vez que o Fe está diretamente relacionado com o transporte de oxigênio e o Mn na ativação de enzimas antioxidantes (MARCELLE, 1993; IBRAHEIM; MOHSEN, 2015). Já o aumento do Zn pode resultar no aumento de teor de CFT, uma vez que o cofator pode ativar enzimas como a fenilalanina amônia-liase, que é a enzima chave na rota biossintética de CF (DA COSTA et al., 2023).

Além das correlações acima, interações fortemente positivas (acima de 0,98) entre o Zn com Fe e atividade antioxidante ($p < 0,01$) também foram destacadas. A correlação entre esses minerais, pode indicar que ao longo do desenvolvimento da pitaia, à necessidade deles em processos bioquímicos como na ativação de enzimas, como a anidrase e a superóxido dismutase (SOD) e no transporte de elétrons (DEL RÍO et al., 2018). A SOD está atrelada a eliminação de radicais livres, protegendo as células vegetais contra danos oxidativos. Portanto, o aumento do Zn pode ocasionar na ativação deste catalisador aumentando a atividade antioxidante (ZHU et al., 2018; SARDAR et al., 2021) Neste sentido, a presença do Zn pode estimular além de catalisadores, mas também compostos antioxidantes, que consequentemente contribuem com uma maior capacidade de reduzir o complexo fosfomolibdênio e proteger as células como mensurado pelo método β -caroteno.

Estas correlações demonstram que *S. megalanthus* não apresentou em seu desenvolvimento, deficiência de íons metálicos importantes, e consequentemente, não ocorreu alterações na atividade funcional das enzimas na polpa. Caso houvesse deficiência desses cofatores essenciais, seria esperado um amolecimento inadequado dos frutos devido à menor eficiência ou estabilidade enzimática. Isso poderia comprometer a qualidade final da pitiaia, afetando características como textura, sabor, e potencial de mercado, além de indicar possíveis problemas no cultivo ou na absorção desses nutrientes pelo cladódio (REDGWELL; FISCHER 2002; TAYZ et al., 2015).

A correlação positiva entre CFT e antioxidantes (acima de 0,50) foram observadas na polpa da pitiaia, entretanto não foram significativas ($p > 0,05$). A correlação fortemente positiva (0,96) entre CFT e a massa ($p < 0,01$) sugere que as pitaias maiores tendem a conter maiores quantidades de compostos fenólicos. Isto pode indicar que o metabolismo destes constituintes bioativos está relacionado ao crescimento e desenvolvimento das frutas.

Os estádios finais apresentaram uma diminuição da textura, ligada ao amaciamento do fruto, possivelmente provocado pela hidrólise das ligações cruzadas entre as moléculas de pectina, provocando a solubilização e fragmentação desta substância, o que levou à redução da integridade estrutural da parede celular, tornando o fruto mais permeável e menos coeso.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento da *S. megalanthus* mostrou mudanças expressivas nas dimensões, peso e rendimento dos frutos, com forte correlação entre o crescimento da massa e dos diâmetros, sólidos solúveis e pH. As pectinases atuaram principalmente nas fases S3 e S4, resultando em alterações na estrutura celular. A coloração intensificou-se tanto na casca quanto na polpa, e minerais como Cu, K, Mg, Ca, Mn e S apresentaram correlações, sugerindo uma sinergia na absorção. No estágio S5, o fruto maduro exibiu casca amarelada uniforme, firmeza reduzida e elevado teor de sólidos solúveis, tornando-o ideal para consumo *in natura*. O fruto também oferece alto valor nutricional e potencial antioxidante, destacando-se no mercado de frutas exóticas.

REFERÊNCIAS

ARIVALAGAN, M. et al. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (*Hylocereus* species). **Food Chemistry**, v. 353, p. 129426, 2021.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis**. 21. ed. Gaithersburg: AOAC, 2019.

AVRAM, O. R.; CARAGEA, G.; VARZARU, C. A. Copper and its role in the human body – the importance of establishing copper concentrations in the body. **Romanian Journal Military Medicine**, v.124, n. 2, p. 254–260, 2021.

BALENDRES, M. A.; BENGUA, J. C. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* species): Etiology and current management options. **Crop Protection**, v. 126, p. 104920, 2019.

BHARGAVA, A.; BANSAL, A. Fruits and vegetables quality evaluation using computer vision: A review. **Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences**, v. 33, n. 3, p. 243–257, 2021.

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

BRITTON, N. L.; ROSE, J. N. **The cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family**; in four volumes, bound as two, 1963.

CAJAZEIRA, J. P. et al. Growth and gas exchange in white pitaya under different concentrations of potassium and calcium. **REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA**, v. 49, n. 1, 2018.

CARVALHO DO LAGO, R. et al. Effect of coating with co-product-based bionanocomposites on the quality of strawberries under refrigerated storage. **Scientia Horticulturae**, v. 309, p. 111668, 2023.

CHEN, T.; QIN, G.; TIAN, S. Regulatory network of fruit ripening: current understanding and future challenges. **New Phytologist**, v. 228, n. 4, p. 1219–1226, 2020.

CHYLÍŃSKA, M. et al. Changing of biochemical parameters and cell wall polysaccharides distribution during physiological development of tomato fruit. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 119, p. 328–337, 2017.

COOMBE, B. G. The Development of Fleshy Fruits. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 27, n. 1, p. 207–228, 1976.

DA COSTA, C. A. R. et al. Proteome and metabolome of *Caryocar brasiliense* camb. fruit and their interaction during development. **Food Research International**, v. 191, p. 114687, 2024.

DE LA ROSA, L. A. et al. Phenolic Compounds. Em: **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**. [s.l.] Elsevier, p. 253–271, 2019.

DEL RÍO, Luis A. et al. Plant superoxide dismutases: Function under abiotic stress conditions. **Antioxidants and antioxidant enzymes in higher plants**, p. 1-26, 2018.

DIERBERGER, P. **Pitaya amarela selenicereus megalanthus**. Disponível em: <https://fazendacitra.com.br/pitaya-amarela.html>. Acesso em: 07 ago. 2024.

ESQUIVEL, P.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Phenolic Compound Profiles and their Corresponding Antioxidant Capacity of Purple Pitaya (*Hylocereus* sp.) Genotypes. **Zeitschrift für Naturforschung C**, v. 62, n. 9–10, p. 636–644, 2007.

GANDHI, M. et al. Manganese in health and diseases: A reviews. **The Pharma Innovation Journal**, v. 7, n. 3, p. 374-379, 2018.

GAO, J. et al. Role of ethylene response factors (ERFs) in fruit ripening. **Food Quality and Safety**, v. 4, n. 1, p. 15–20, 2020.

GENGATHARAN, A.; DYKES, G. A.; CHOO, W. S. Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 645–649, 2015.

GHARIBZAHEDI, S. M. T.; JAFARI, S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 119–132, 2017.

GIOVANNONI, J. et al. The Epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, n. 1, p. 61–84, 2017.

GODSWILL, A. G. et al. Health Benefits of Micronutrients (Vitamins and Minerals) and their Associated Deficiency Diseases: A Systematic Review. **International Journal of Food Sciences**, v. 3, n. 1, p. 1–32, 2020.

GULCIN, İ. Antioxidants and antioxidant methods: an updated overview. **Archives of Toxicology**, v. 94, n. 3, p. 651–715, 2020.

HUANG, Siyu et al. Interactive Effects between Zinc and Selenium on Mineral Element Accumulation and Fruit Quality of Strawberry. **Agronomy**, v. 13, n. 10, p. 2453, 2023.

HUNT. The New Cactus Lexicon Vol I (Text). 2006. PDF. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/598941404/Hunt-2006-The-New-Cactus-Lexicon-Vol-I-Text>>. Acesso em: 15 jul. 2024.

HU, W. et al. Biosynthesis of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity in Fresh-Cut Fruits and Vegetables. **Frontiers in Microbiology**, v. 13, p. 906069, 2022.

IBRAHEIM, S. Kh. A.; MOHSEN, AAM. Efeito de taxas de quitosana e nitrogênio no crescimento e produtividade de plantas de abóbora de verão. **Middle East J. Agric. Res**, v. 4, n. 4, p. 673-681, 2015.

ILAHY, R. et al. Inside and Beyond Color: Comparative Overview of Functional Quality of Tomato and Watermelon Fruits. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.

JIANG, Yi-Lu et al. Phenology, canopy composition, and fruit quality of yellow pitaya in tropical Taiwan. **HortScience**, v. 46, n. 11, p. 1497-1502, 2011.

JIANG, Y.-L. et al. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus* sp.). **HortScience**, v. 47, n. 8, p. 1063–1067, 2012.

JOHNSON, R. et al. Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 172, p. 56–69, 2022.

KHODDAMI, A.; WILKES, M.; ROBERTS, T. Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. **Molecules**, v. 18, n. 2, p. 2328–2375, 2013.

LAHBIB, K. et al. Changes in Yield-Related Traits, Phytochemical Composition, and Antioxidant Activity of Pepper (*Capsicum annuum*) Depending on Its Variety, Fruit Position, and Ripening Stage. **Foods**, v. 12, n. 21, p. 3948, 2023.

LI, S.; CHEN, K.; GRIERSON, D. Molecular and Hormonal Mechanisms Regulating Fleshy Fruit Ripening. **Cells**, v. 10, n. 5, p. 1136, 2021.

LI, X. et al. Methyl jasmonate enhances wound-induced phenolic accumulation in pitaya fruit by regulating sugar content and energy status. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 106–112, 2018.

LI, X. et al. Cold plasma treatment induces phenolic accumulation and enhances antioxidant activity in fresh-cut pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit. **LWT**, v. 115, p. 108447, 2019.

LIM, T. K. **Edible Medicinal and Non Medicinal Plants**. 2015.

LIU, J. et al. Fruit softening correlates with enzymatic activities and compositional changes in fruit cell wall during growing in *Lycium barbarum* L. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 6, p. 3044–3054, 2021.

LUU, T.-T.-H. et al. Dragon fruit: A review of health benefits and nutrients and its sustainable development under climate changes in Vietnam. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 39, n. 2, p. 71–94, 2021.

MAGALHÃES, D. S. et al. Physical and physicochemical modifications of white-fleshed pitaya throughout its development. **Scientia Horticulturae**, v. 243, p. 537–543, 2019a.

MAGALHÃES, D. S. et al. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 180–186, 2019b.

MAI, T. H. A.; TRAN, T. T. T.; LE, V. V. M. Protection of antioxidants in pitaya (*Hylocereus undatus*) peel: effects of blanching conditions on polyphenoloxidase, peroxidase and antioxidant activities. **Food Science and Technology**, v. 42, p. e112921, 2022.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. DE. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 1997. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/001070906>>. Acesso em: 26 fev. 2024.

MARCELLE, R. Nutrição mineral e qualidade de frutos. **Nutrição Mineral de Plantas Frutíferas Decíduas** 383, p. 219-226, 1993.

MARCOLINO, E. et al. Valorization of baobab seeds (*Adansonia digitata*) as a coffee-like beverage: evaluation of roasting time on bioactive compounds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 61, n. 4, p. 727–733, 2024.

MARTINELI, M. et al. Post-harvest physiology of pitaya at different ripening stages. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 1033– 0148, 2021.

MATHIAZHAGAN, M. et al. Genomic Approaches for Improvement of Tropical Fruits: Fruit Quality, Shelf Life and Nutrient Content. **Genes**, v. 12, n. 12, p. 1881, 2021.

MEDINA, M. B. Determination of the total phenolics in juices and superfruits by a novel chemical method. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 2, p. 79–87, 2011.

MIZRAHI, Y. Trinta e um anos de pesquisa e desenvolvimento na pitaya de cactus-videira em Israel. **Melhorando a produção e o marketing de pitaya**, p. 1-18, 2015.

MOHAMMAD, M.; DING, P. Physico-textural and cellular structure changes of *Carissa congesta* fruit during growth and development. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 380–389, 2019.

MORAIS, D. C. M. et al. Physical, chemical, nutritional, and antinutritional characterization of fresh peels of yellow pitaya (*Selenicereus megalanthus*) and red pitaya (*Hylocereus costaricensis*) and their flours. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, n. 3, p. e20207289, 2021.

MORAIS, S. G. G. et al. Effects of probiotics on the content and bioaccessibility of phenolic compounds in red pitaya pulp. **Food Research International**, v. 126, p. 108681, 2019.

MORILLO CORONADO, A. C.; TOVAR LEÓN, Y. P.; MORILLO CORONADO, Y. caracterización molecular de la pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw) en la provincia de Lengupá, Boyaca-COLOMBIA. **Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 15, n. 1, p. 11, 2017.

NERD, Avinoam; MIZRAHI, Yosef. Fruit development and ripening in yellow pitaya. **Journal of the American Society for horticultural Science**, v. 123, n. 4, p. 560-562, 1998.

OLIVEIRA, B. A. S. et al. Caracterização química de polpa e casca de Pitaya 'golden'. **Revista da Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa-Congrega Urcamp**, v. 28-34, 2020.

ORTIZ HERNÁNDEZ, Y. D.; CARRILLO SALAZAR, J. A. Pitahaya (Hylocereus spp.): a short review. **Comunicata Scientiae**, v. 3, n. 4, p. 220–237, 2012.

ORTIZ, T. A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 14422–14439, 2015.

OSORIO, S.; FERNIE, A. R. Biochemistry of Fruit Ripening. Em: The Molecular Biology and **Biochemistry of Fruit Ripening**. [s.l.] Wiley, p. 1–19, 2013.

PATIL, P. U. et al. Grading and sorting technique of dragon fruits using machine learning algorithms. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p. 100118, 2021.

PATTISON, P. M. et al. LEDs for photons, physiology and food. *Nature*, v. 563, n. 7732, p. 493–500, 2018.

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. **Analytical Biochemistry**, v. 269, n. 2, p. 337–341, 1999.

QINGZHU, H. et al. Transcriptomic Analysis Reveals Key Genes Related to Betalain Biosynthesis in Pulp Coloration of *Hylocereus polyrhizus*. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, n. 5, 2016.

RABELO, J. M. et al. Reproductive phenology of yellow pitaya in a high-altitude tropical region in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 42, p. e43335, 2020.

RODRIGUES, L. J. et al. Physicochemical and chemical modifications of baby pitaya during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 306, p. 111460, 2022.

RUFINO, M. DO S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

SADOWSKA-BARTOSZ, I.; BARTOSZ, G. Biological Properties and Applications of Betalains. **Molecules**, v. 26, n. 9, p. 2520, 2021.

SARDAR, H. et al. Effect of foliar application of zinc oxide on growth and photosynthetic traits of cherry tomato under calcareous soil conditions. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 20, n. 1, p. 91-99, 2021.

SARRA, S. R. et al. Iluminação com LEDS para amadurecimento de peras após a colheita/ LEDS lighting for pears ripening after harvesting. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 40482–40500, 2021.

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SERAFIM, U. **Perfil dos produtores e caracterização de frutos de pitaia vermelha produzidos no sul de minas gerais**. 2020.

SHI, J. et al. Physiological and biochemical changes during fruit maturation and ripening in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Chemistry**, v. 410, p. 135299, 2023.

SILVA, J. P. DA et al. Análises físicas, bromatológicas, fitoquímicas e toxicológicas da *Hylocereus polyrhizus*. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 12, p. e83121244014, 2023.

SINGH, B. et al. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum* L.) peel: A review. **Food Chemistry**, v. 261, p. 75–86, 2018.

SOTOMAYOR CORREA, A. et al. Evaluación físico química de fruta de pitahaya (*Selenicereus megalanthus*) en diferentes estados de desarrollo. **Enfoque UTE**, v. 10, n. 1, p. 89–96, 2019.

TAIZ, L. et al. **Plant physiology and Development**. 2015.

THAIUDOM, S.; OONSIVILAI, R.; THAIWONG, N. Production of colorant powder from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel: Bioactivity, heavy metal contamination, antimutagenicity, and antioxidation aspects. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n. 1, 2021.

TRIEU, N. M.; THINH, N. T. A Study of Combining KNN and ANN for Classifying Dragon Fruits Automatically. **Journal of Image and Graphics**, v. 10, n. 1, 2022.

TRINDADE, A. R. et al. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3212, 2023.

WANG, K. et al. The biochemical and molecular mechanisms of softening inhibition by chitosan coating in strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*) during cold storage. **Scientia Horticulturae**, v. 271, p. 109483, 2020a.

WANG, W. et al. Current insights into posttranscriptional regulation of fleshy fruit ripening. **Plant Physiology**, v. 192, n. 3, p. 1785–1798, 2023.

WEI, W. et al. Pitaya HpWRKY3 Is Associated with Fruit Sugar Accumulation by Transcriptionally Modulating Sucrose Metabolic Genes HpINV2 and HpSuSy1. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 8, p. 1890, 2019.

WEYH, C. et al. The Role of Minerals in the Optimal Functioning of the Immune System. **Nutrients**, v. 14, n. 3, p. 644, 2022.

XIE, F. et al. Metabolic Profiling of Sugars and Organic Acids, and Expression Analyses of Metabolism-Associated Genes in Two Yellow-Peel Pitaya Species. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 694, 2022.

XIONG, R. et al. Transcriptomic analysis of flower induction for long-day pitaya by supplementary lighting in short-day winter season. **BMC Genomics**, v. 21, n. 1, p. 329, 2020.

YOUNAS, N. et al. Alleviation of zinc deficiency in plants and humans through an effective technique; biofortification: A detailed review. **Acta Ecologica Sinica**, v 43, n. 3, p. 419-425, 2023.

ZHANG, H. et al. Methyl salicylate delays peel yellowing of ‘Zaosu’ pear (*Pyrus bretschneideri*) during storage by regulating chlorophyll metabolism and maintaining chloroplast ultrastructure. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 10, p. 4816–4824, 2019.

ZITHA, E. Z. M. et al. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110611, 2022.

ZHU, Z. et al. Exploring the effects os selenium treatment on the nutritional quality of tomato fruit. **Food Chemistry**, v. 252, p. 9-15, 2018.

APÊNDICES

Tabela 1 – Matriz de correlação de Pearson baseada nas variáveis físicas e físico-químicas da pitiaia *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

	Hue (C)	AT	DL (F)	DT (F)	SS	pH	L* (C)	C* (C)	L* (P)	C* (P)	Hue (P)	Massa	Ren	DL (P)	DT (P)	Esp	F (P)
Hue (C)	-----																
AT ¹	-0.74	-----															
DL (F)	0.68	-0.97**	-----														
DT (F)	0.81	-0.97**	0.94*	-----													
SS	0.67	-0.99***	0.96**	0.94*	-----												
pH	0.62	-0.97**	0.91*	0.89*	0.98**	-----											
L* (C)	-0.90* ²	0.72	-0.74	-0.85	-0.65	-0.55	-----										
C* (C)	-0.92*	0.93*	-0.90*	-0.96**	-0.90*	-0.85	0.88*	-----									
L* (P)	-0.39	0.87	-0.82	-0.74	-0.91*	-0.95*	0.29	0.67	-----								
C* (P)	-0.25	0.72	-0.61	-0.54	-0.77	-0.86	0.09	0.50	0.93*	-----							
Hue (P)	-0.69	0.61	-0.42	-0.03	-0.60	-0.67	0.36	0.19	0.59	0.66	-----						
Massa	0.77	-0.98*	0.98*	0.99***	0.96*	0.92*	-0.79	-0.95*	-0.80	-0.59	-0.52	-----					
Ren	0.63	-0.93*	0.83	0.82	0.94*	0.98**	-0.49	-0.82	-0.94*	-0.90*	-0.78	0.85*	-----				
DL (P)	0.72	-0.97**	0.91*	0.92*	0.96**	0.95**	-0.69	-0.89*	-0.85	-0.78	-0.66	0.92*	0.94*	-----			
DT (P)	0.69	-0.98**	0.91*	0.91*	0.98**	0.99***	-0.61	-0.89*	-0.92*	-0.83	-0.71	0.93*	0.98**	0.98**	-----		
Esp	-0.67	-0.96**	-0.88*	-0.88*	-0.97**	-0.99***	-0.55	0.87	-0.94*	0.86	0.74	0.90*	-0.93***	-0.95*	-0.99***	-----	
F (P)	-0.59	0.93*	-0.97**	-0.93*	-0.92*	-0.87	0.72	0.82	0.77	0.60	0.31	-0.93*	-0.78	-0.91*	-0.87	0.83	-----

¹ AT, Acidez Titulável; DL, Diâmetro Longitudinal; DT, Diâmetro Transversal; SS, Sólidos Solúveis; Ren, Rendimento; Esp, Espessura. Fruta (F); Casca (C) e Polpa (P). ² *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. Fonte: Autores (2024).

Tabela 2 – Matriz de correlação de Pearson baseada nos minerais, fenólicos totais, atividade antioxidante, enzimas modificadoras de parede celular, firmeza e espessura da casca e dimensões e massa da pitiaia *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

	K (C)	Cu (C)	CFT (C)	CF (C)	β-car (C)	Cx	PME	PG	F (C)	Fe (C)	Zn (C)	Esp	DL (F)	DT (F)	Massa
K (C)	-----														
Cu (C)	0.90* ²	-----													
CFT (C) ¹	0.89*	0.79	-----												
CF (C)	0.84	0.96**	0.75	-----											
β-car (C)	0.82	0.78	0.97**	0.74	-----										
Cx	0.97**	0.92*	0.93*	0.85	0.90*	-----									
PME	-0.27	-0.39	-0.142	-0.17	-0.19	-0.38	-----								
PG	0.74	0.56	0.94*	0.49	0.92*	0.80	-0.09	-----							
F (C)	-0.87	-0.92*	-0.88	-0.96**	-0.88*	-0.89*	0.07	-0.695	-----						
Fe (C)	-0.99	-0.04	-0.23	-0.27	-0.20	-0.02	-0.89*	-0.19	0.37	-----					
Zn (C)	0.05	0.30	-0.29	0.22	-0.27	0.05	-0.68	-0.50	0.03	0.62	-----				
Esp	-0.78	-0.80	-0.93*	-0.81	-0.97**	-0.86	0.06	-0.85	0.93*	0.35	0.26	-----			
DL (F)	0.80	0.62	0.96**	0.61	0.91*	0.81	0.10	0.95*	-0.79	-0.42*	-0.53	-0.88*	-----		
DT (F)	0.66	0.50	0.90*	0.52	0.89*	0.70	0.21	0.94*	-0.73	-0.50	-0.65	-0.88*	0.97**	-----	
Massa	0.72	0.57	0.94*	0.57	0.93*	0.76	0.10	0.97**	-0.74	-0.41	-0.57	-0.90*	0.98**	0,99***	-----

¹ CFT, Compostos Fenólicos Totais; CF, Atividade antioxidante pelo método Complexo Fosfomolibdênio; β-car, β-caroteno/ácido linoléico; β-gal, β-galactosidase; Cx, Celulase; PME, Pectinametilesterase; PG, Poligalacturonase. F, Firmeza; Esp, Espessura da casca. DL, Diâmetro Longitudinal; DT, Diâmetro Transversal; Fruta (F); Casca (C) e Polpa (P). ² *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. Fonte: Autores (2024).

Tabela 3 – Matriz de correlação de Pearson baseada nas variáveis físicas e físico-químicas, minerais, fenólicos totais e atividade antioxidante da polpa da pitiaia *S. megalanthus* ao longo do seu desenvolvimento.

	L* (P)	SS ¹	C (P)	Massa	DL (P)	DT (P)	K (P)	Mg (P)	S (P)	Mn (P)	Zn (P)	Fe (P)	CFT(P)	CF (P)	β-car(P)	AT
L* (P)	-----															
SS ¹	-0.91* ²	-----														
C (P)	0.93*	-0.77	-----													
Massa	-0.80	0.96**	-0.59	-----												
DL (P)	-0.85	0.96**	-0.78	0.92*	-----											
DT (P)	-0.92*	0.98**	-0.83	0.93*	0.98*	-----										
K (P)	-0.86	-0,93*	0.76	-0.90*	-0.91	-0.96*	-----									
Mg (P)	0.53	0.81	0.35	-0.90*	-0.83	-0.80	0.82	-----								
S (P)	0.86	-0.85	0.87	-0.75	-0.88*	-0.92*	0.95*	0.68	-----							
Mn (P)	-0.94*	0.75	-0.95*	0.50	0.69	0.77	-0.68	-0.24	-0.74	-----						
Zn (P)	-0.75	0.46	-0.90*	0.22	0.45	0.52	-0.42	0.08	-0.60	0.91*	-----					
Fe (P)	-0.83	0.60	-0.95**	0.38	0.61	0.65	-0.54	-0.09	-0.69	0.94*	0.98**	-----				
CFT (P)	-0.93*	0.96**	-0.75	0.93*	0.87	0.92*	-0.87	-0.69	-0.76	0.80	0.41	0.61*	-----			
CF (P)	-0.79	0.51	-0.88*	0.24	0.47	0.54	-0.41	0.061	-0.55	0.94*	0.98**	0.97*	0.57	-----		
β-car (P)	-0.71	0.92*	-0.56	0.95	0.93*	0.92*	-0.93	-0.968**	-0.83	0.47	0.15	0.32	0.82	0.17		
AT	0.87	-0.99***	0.72	-0.98	-0.97**	-0.98**	0.94*	0.86	-0.84	-0.68	-0.38	-0.53	-0.94*	-0,43	-0.95*	-----

¹ SS, Sólidos Solúveis; DL, Diâmetro Longitudinal; DT, Diâmetro Transversal CFT, Compostos Fenólicos Totais; CF, Atividade antioxidante pelo método Complexo Fosfomolibdênio; β-car, β-caroteno/ácido linoléico; AT, Acidez Titulável. Polpa (P). ² *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001. Fonte: Autores (2024).

ARTIGO 2 – INFLUÊNCIA DA SUPLEMENTAÇÃO LUMINOSA SOBRE A QUALIDADE DE FRUTOS DE DIFERENTES CULTIVARES DE *selenicereus spp.*

Luíz Guilherme Malaquias da Silva ^a. Elisângela Elena Nunes Carvalho ^a.

^aDepartamento de Ciências dos Alimentos (DCA), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, 37200-900, Brasil.

(Formatado de acordo com as normas NBR 6022 (ABNT 2018))

RESUMO

Selenicereus spp pertencem à família Cactaceae e produzem um fruto, conhecido como pitaia, que se destaca por sua aparência exótica e seus constituintes fitoquímicos. A redução da produtividade de *Selenicereus spp* em dias mais curtos e frios justifica a adoção de novas tecnologias para atender à demanda da planta por fluorescência. Entretanto, a influência da suplementação luminosa na qualidade das frutas de pitaia ainda é pouco estudada, especialmente no contexto de diferentes cultivares, uma vez que a qualidade da fruta é tão importante quanto a produtividade. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi investigar a influência da suplementação luminosa por LED durante o florescimento na qualidade físico-química e no teor de bioativos dos frutos de pitaia de diferentes cultivares. Plantas das cultivares ‘Boreal Red’ (A), ‘Chinesa’ (B) (*S. undatus*) e ‘Roxa do Pará’ (C) (*S. costaricensis*) foram submetidas por quatro horas (20:00 às 24:00), diariamente durante o período de floração (20 dias $\pm$ 3), à suplementação luminosa, utilizando-se lâmpadas compostas por diodos emissores de luz/fótons *Full spectrum*, entre 400 e 700 nm (lâmpadas LED). Os frutos, no ponto comercial de colheita, foram submetidos a análises físicas, físico-químicas e químicas. No experimento, as três cultivares testadas apresentaram aumentos significativos com a suplementação luminosa: massa (19,04%), claridade da casca (4,19%), intensidade da cor da casca (5,31%), tonalidade da polpa (66,65%), frutose (29,17%) e vitamina C (6,73%). E apenas a cultivar ‘Boreal Red’, apresentou aumento da tonalidade da cor da polpa (30,67%), e nos teores de sacarose (23,19%), e glicose (30,12%). Os resultados desta pesquisa contribuem para o conhecimento científico sobre o cultivo da pitaia e fornecem subsídios para aprimorar as práticas agrícolas no Brasil, especialmente em relação ao fotoperíodo crítico. Os frutos apresentaram aumento nos metabólitos primários, como açúcares, e nos secundários, como a vitamina C.

Palavras-chave: Iluminação artificial; LEDs; Qualidade de frutas; Antioxidantes; Metabólitos primários e secundários.

ABSTRACT

Selenicereus spp belong to the Cactaceae family and produce a fruit known as pitaya, which is notable for its exotic appearance and phytochemical constituents. The reduction in productivity of *Selenicereus* spp during shorter and colder days justifies the adoption of new technologies to meet the plant's demand for light supplementation. However, the influence of light supplementation on the quality of pitaya fruits is still under-researched, especially regarding different cultivars, as fruit quality is as important as productivity. Therefore, the aim of this study was to investigate the influence of LED light supplementation during flowering on the physicochemical quality and bioactive content of pitaya fruits from different cultivars. Plants of the cultivars 'Boreal Red' (A), 'Chinese' (B) (*S. undatus*), and 'Roxa do Pará' (C) (*S. costaricensis*) were subjected to four hours of light supplementation every day (from 8 pm to midnight) daily during the flowering period (approximately 20 days). This was done using full-spectrum light-emitting diode (LED) lamps, ranging from 400 to 700 nm. The fruits, at the commercial harvest point, underwent physical, physicochemical, and chemical analyses. The experiment showed that all three tested cultivars exhibited significant increases with light supplementation: mass (19.04%), skin brightness (4.19%), skin color intensity (5.31%), pulp hue (66.65%), fructose (29.17%), and vitamin C (6.73%). Only the 'Boreal Red' cultivar showed an increase in pulp hue (30.67%), as well as in sucrose (23.19%) and glucose (30.12%). The results of this research contribute to scientific knowledge regarding the cultivation of pitaya and provide insights to enhance agricultural practices in Brazil, particularly in relation to critical photoperiods. The fruits showed increases in primary metabolites, such as sugars, and in secondary metabolites, such as vitamin C.

Keywords: Artificial lighting; LEDs; Fruit quality; Antioxidants; Primary and secondary metabolites.

1. INTRODUÇÃO

Pertencente à família Cactaceae e produzida por espécies do gênero *Selenicereus*, a pitaia é uma fruta tropical exótica que se destaca por sua aparência vibrante e propriedades nutricionais. Rica em potássio, magnésio, cálcio, ferro e cobre, a pitaia também contém aminoácidos essenciais como histidina, lisina, metionina e fenilalanina, além de vitaminas do complexo B, proteínas e fibras (ARIVALAGAN et al., 2021; LIU et al., 2019). O florescimento da planta é favorecido por dias longos (DOS SANTOS; DOS SANTOS; AMARAL 2023) e a antese floral ocorre durante à noite, perdurando entre nove a quatorze horas, encerrando ao amanhecer (SANTOS; PIO; FALEIRO, 2022). Após a floração e polinização, (fase essa essencial do desenvolvimento reprodutivo), ocorre o murchamento das flores (SONG et al., 2015; TRINDADE et al., 2023).

As condições edafoclimáticas e sazonais no Brasil sofrem alterações ao longo do ano, e tais mudanças são fatores relevantes na produção da pitaia. Uma dessas condições que afeta diretamente a produção de pitaias, é a diminuição do fotoperíodo. Essa fase de fotoperíodo crítico é caracterizada por “dias mais curtos”, devido a redução das horas de incidência solar que varia de acordo com as estações e localidades de cada país (XIONG et al., 2020). A temperatura é outra condição específica, sendo o ideal para o crescimento da pitaia, variações entre 25 °C e 35 °C (WANG et al., 2024). Quando a temperatura cai abaixo de 10 °C ou supera 38 °C, o crescimento da planta é interrompido. Essa condição parece ter forte relação com uma produção não perene de pitaias, resultando em períodos de safra e entressafra. Deste modo, grandes estados produtores como São Paulo (23°S), Santa Catarina (27°S), Minas Gerais (18°S) e Paraná (25°S) não produzem frutos de abril a agosto, quando o fotoperíodo é considerado crítico, com variações entre 11 e 11.9 horas/dia (MASTER, 2024). Apesar do florescimento não ser observado de fotoperíodo crítico, a planta ao entrar na fase reprodutiva, pode ter seu florescimento induzido fotossinteticamente (NERD; MIZRAHY, 2016).

Nesse contexto, a suplementação luminosa noturna torna-se uma alternativa promissora no início da fase reprodutiva, que conseqüentemente pode ser estimulada e intensificada pela suplementação luminosa (SL), utilizando radiação fotossinteticamente ativa (JIANG et al., 2012; XIONG et al., 2020). Avaliando a indução floral de pitaias suplementadas com luz, Wang et al. (2024), destacam que os LEDs durante a noite no inverno podem interagir com a sinalização hormonal endógena na pitaia, especialmente com a citocinina, que regula a formação de brotos, e com o ácido giberélico, que promove seu desenvolvimento. Ou seja, esta

tecnologia influencia a produção de hormônios vegetais, como as giberelinas, que são essenciais para a indução da floração e consequentemente o desenvolvimento das pitaias (PAN et al., 2017; PAN; CHENG; SUN, 2021). Neste sentido, estudos que utilizaram a *H. undatus* como cultivar modelo para investigar a adição de iluminação artificial para induzir a floração e a produção fora de temporada, destacaram que a tecnologia é promissora e aplicável (YEN; CHANG, 1997; HOA, 2008; SARADHULDHAT et al., 2009; FAN 2010). Na literatura, também é relatada o aumento na qualidade das cultivares e clones de pitaias de origem da América Central, Taiwan e Vietnam submetidas a SL, através do aumento do rendimento da polpa e do teor de sólidos solúveis das cultivares ‘Orejona’, ‘Lisa’, ‘Rosa’, ‘Jhubei 3’ ‘D4’, ‘D15’, ‘D18’, ‘Small Nick’ (TRAN, YEN E CHEN, 2015). Além do aumento no teor de sólidos solúveis e na qualidade da cultivar ‘Zimilong’ (CHEN et al., 2019). Logo, a aplicação de SL prática possibilita elevar a produtividade dessa fruta nas temporadas de fotoperíodos curtos, agregando alto valor econômico às culturas de pitaias. Dessa maneira, tecnologias como o emprego de suplementação luminosa se tornam alternativas proeminentes para os produtores.

Embora existam trabalhos que relatem a influência da aplicação de SL em diferentes espécies, não há evidências científicas relacionadas à *Selenicereus spp* no Brasil. Portanto, de forma inédita o objetivo deste estudo foi investigar a influência da SL durante o florescimento na qualidade dos frutos de três cultivares de *Selenicereus spp*.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Delineamento experimental e material vegetal

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com arranjo fatorial duplo (2 x 3), sendo o primeiro fator a iluminação (sob ausência (SSL) e presença de suplementação luminosa (CSL), e o segundo fator as diferentes cultivares de pitaias *Selenicereus undatus* (‘Boreal Red’, ‘Chinesa’) e *Selenicereus costaricensis* (‘Roxa do Pará’) (Figura 1). Cada tratamento foi repetido quatro vezes, totalizando 24 unidades experimentais. As amostras foram submetidas às mesmas condições de cultivo e manejo, com exceção da variável de iluminação, que foi controlada para avaliar o impacto da suplementação luminosa no desenvolvimento e qualidade dos frutos. As variáveis de resposta incluíram características físico-químicas e morfológicas dos frutos ao longo de seu desenvolvimento.

Figura 1 – Cultivares de pitaia. ‘Boreal Red’, ‘Chinesa’ (*Selenicereus megalanthus*) e ‘Roxa do Pará’ (*Selenicereus costaricensis*).



Fonte: Autores (2024).

Plantas das cultivares ‘Boreal Red’ (A), ‘Chinesa’ (B) (*S. undatus*) e ‘Roxa do Pará’ (C) (*S. costaricensis*) foram submetidas por quatro horas (20:00 às 24:00), diariamente durante o período de floração (20 dias $\pm$ 3), à suplementação luminosa (Figura 2), utilizando-se lâmpadas compostas por diodos emissores de luz/fótons *Full spectrum*, entre 400 e 700 nm (lâmpadas LED), capazes de ativar a radiação fotossinteticamente ativa mensurada em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (PATTISON et al., 2018). O manejo artificial do fotoperíodo, em um hectare no sítio Nascente da pitaya & cia, localizado em Bambuí – MG, Brasil (latitude: 20° 00' 21" sul; longitude: 45° 58' 37" oeste). Toda energia da suplementação luminosa consumida durante a floração foi oriunda dos painéis solares da propriedade. Para a avaliação dos resultados, foram coletados dados de controle das cultivares cultivadas fora do sistema de suplementação luminosa, mantendo as mesmas condições de localidade.

Figura 2 – Esquema do campo experimental com a implementação da suplementação luminosa.



Fonte: Autores (2024).

A colheita dos frutos foi realizada quando as escamas estavam metade verde e metade rosa de forma aleatória durante a safra. Após a colheita, os frutos passaram por um processo de seleção baseado em sua aparência externa, sendo descartados aqueles que apresentavam sinais de patógenos, parasitas ou defeitos. Posteriormente os frutos foram transferidos por meio de caixas herméticas de poliestireno expandido com gelo seco, para a planta piloto de Pós-colheita de Frutas e Hortaliças da Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, MG, Brasil. Em sequência, foram lavados em água corrente e submetidos a imersão em solução de hipoclorito de sódio a 1% (75 mL de hipoclorito em 5 L de água) por 2 minutos. Após esse procedimento, os frutos foram enxaguados com água destilada para eliminar resíduos do sanitizante, evitando interferências nas análises seguintes. As pitaias foram então secas à temperatura ambiente. A seguir, as cascas (mesocarpo e exocarpo) e a polpa (endocarpo) foram separadas utilizando

colheres de aço inoxidável higienizadas com álcool 70%, acondicionadas em sacos de polietileno de baixa densidade e armazenadas em ultrafreezer a -80°C para futuras análises.

2.2 Análises físico-químicas

O pH da polpa foi mensurado usando um pHmetro TECNAL®, R-TEC-7-MP (Piracicaba-SP, Brasil). A acidez titulável das frutas foram realizadas segundo métodos do AOAC (2019), por titulação com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N usando fenolftaleína como indicador, e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido málico em massa fresca. Os teores de sólidos solúveis foram obtidos usando refratômetro digital ATAGO PR-100, (Tóquio, Japão) da polpa sem diluição, e os resultados foram expressos em % (AOAC, 2019). A massa foi obtida a partir da pesagem das frutas, em balança analítica (Marte D330), e os resultados foram expressos em gramas (g). O rendimento da polpa foi calculado pela relação da massa das frutas inteiras e a massa da polpa, sendo os resultados expressos em porcentagem (%). Para a cor da casca e da polpa de cada cultivar, a avaliação foi realizada em sua região equatorial, usando o colorímetro Konica Minolta CR-400, no espaço de cores da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), empregando o sistema de escala de cores L*, a* e b*, croma (C*) e ângulo hue (h°). A firmeza foi determinada utilizando um analisador de textura Stable Micro System (TA.XT2i), usando uma sonda cilíndrica (2 mm de diâmetro) com uma velocidade de teste igual a 1 mm s⁻¹, a uma distância de penetração de 3 mm, sendo a plataforma HDP/90 utilizada como base. Os resultados foram expressos em Newton (N), tanto para casca e polpa.

2.3 Dimensões do fruto

O comprimento, diâmetro, espessura do exocarpo e área das frutas foram obtidos digitalmente com auxílio do processador *ImageJ* medidas diretamente nas imagens utilizando uma escala de 1 cm (SCHNEIDER; RASBAND; ELICEIRI, 2012). Os resultados foram expressos em centímetros (cm).

2.4 Teor de frutose, glicose e sacarose

Os açúcares, frutose, glicose e sacarose foram quantificados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC - High Performance Liquid Chromatography) segundo metodologia descrita por Oliveira et al. (2021). Cerca de 1 g de polpa de pitaia foi diluída em 5 mL de água ultrapura. Após a homogeneização das amostras, foram coletados 1 mL para diluição de 2x com

água ultrapura e analisado em cromatógrafo © Shimadzu, modelo Prominence, com coluna Shim-pack SCR 102HG protegida por pré-coluna SCR 102HG. As substâncias foram visualizadas a partir dos detectores de índice de refração (RID-20 A) e UV-VIS (SPD-20A), mantendo a temperatura do forno à 50 °C e fluxo de fase móvel de ácido perclórico 5 mM em 0,600 mL min⁻¹, e os resultados expressos em g 100 g⁻¹ de massa Fresca (FM).

2.5 Extração para compostos bioativos

Para a obtenção dos extratos destinados à determinação dos compostos bioativos, 2 g da amostra foram acondicionadas com 20 mL de uma solução extratora (metanol 50%) e submetidas a um banho ultrassônico (Banho Dubdmoff Orbital, Modelo NT 230, Brasil) por 30 minutos. Em seguida, as amostras foram centrifugadas (Hettich - Rotina 380R, Alemanha) por 15 minutos e, posteriormente, filtradas utilizando papel de filtro quantitativo de 12,5 cm de diâmetro e porosidade de 0,025 mm. Uma segunda extração foi feita, com o sobrenadante do filtro com 20 mL do extrator segundo extrator (acetona 50%), seguido do mesmo processo anteriormente mencionado.

2.6 Teor de betalainas

O conteúdo de betalainas (betacianina e betaxantina) foi realizado de acordo com um método descrito por Qingzhu et al. (2016), modificado por Zitha et al. (2022). As leituras foram realizadas utilizando um leitor de microplacas (Biochrom EZ Read 2000) e os resultados expressos em miligramas por cem gramas de amostra fresca (mg 100 g⁻¹ FM).

2.7 Flavonoides e fenólicos totais

O teor de flavonoides totais (TFC), foi determinado através do ensaio espectrofotométrico, com cloreto de alumínio (TOHIDI; RAHIMMALEK; ARZANI, 2017), com adaptações e os resultados expressos em mg equivalentes de quercetina por grama de massa fresca (mg QE g⁻¹ MF). Em resumo, 125 L de extrato foi adicionado em um tubo de ensaio (10 mL) juntamente com 75 µL de nitrito de sódio (5%). Após 6 minutos de reação em repouso no escuro, foi adicionado 150 µL de cloreto de alumínio (10%), e a mistura permaneceu em repouso durante 5 minutos. Posteriormente, adicionou-se 750 L de hidróxido de sódio (1M) e 1400 L de água destilada. Após a homogeneização em vortex (Kasvi, K45-2810) e incubação por 15 min, em seguida as amostras foram lidas um leitor de microplacas (EZ Read 2000,

Biochrom®) com absorvância a 514 nm, e os resultados foram expressos em miligramas por cem gramas de amostra fresca ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ FM}$).

Já o teor de fenólicos totais (TPC), foi determinado pelo método Folin-Ciocalteu descrito por Singleton e Rossi (1965) com as adaptações de Zitha et al. (2022). A quantificação foi realizada espectrofotometricamente (EZ Read 2000, Biochrom®) a 420 nm. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra fresca ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

2.8 Atividade antioxidantes e vitamina C

O ensaio ABTS+ demonstra a capacidade da amostra em reduzir o radical 2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico). Os cátions radicais ABTS + foram produzidos pela reação da solução estoque de ABTS 7 mM com persulfato de potássio 145 mM e permitindo que a mistura permanecesse no escuro à temperatura ambiente por 16 horas antes do uso. A solução ABTS + foi diluída com etanol até uma absorvância de $0,700 \pm 0,02$ a 734 nm. Para a determinação, adicionou-se 30 μl de amostra a 3 ml de solução diluída de ABTS +, as absorvâncias foram registradas 6 min após a mistura. Soluções de ácido ascórbico (1 a 6 mg mL^{-1}) foram utilizadas como padrão e controle positivo e os resultados foram expressos em % de redução.

A determinação do complexo de fosfomolibdênio foi realizada conforme a metodologia descrita por Prieto, Pineda e Aguilar (1999), com adaptações. Foram pipetados 0,5 mL das amostras, em triplicata, em tubos com tampas rosqueáveis. Em seguida, foram adicionados 1,5 mL da solução de fosfomolibdênio, os tubos foram fechados com as tampas levemente afrouxadas e homogeneizados por 10 segundos. Os tubos foram então colocados em banho-maria por 1 hora e 30 minutos. Após o resfriamento em banho de gelo, a leitura foi realizada em espectrofotômetro (EZ Read 2000, Biochrom®) a 695 nm. Os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 g de amostra fresca ($\text{mg de AA } \text{g}^{-1} \text{ de massa fresca}$).

A vitamina C foi quantificada de acordo com o método proposto por Strohecher, Zaragoza e Henning (1967). A absorvância foi medida a 520 nm e um leitor de microplaca de 96 poços (Biochro EZ Read 2000). E os resultados foram expressos em mg de ácido ascórbico por 100 gramas de massa fresca ($\text{mg AA } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

2.9 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para verificar os efeitos dos fatores iluminação e cultivares. Como o fator luz possuía apenas dois níveis (com ou sem iluminação suplementar), o teste F foi aplicado para determinar se havia diferenças significativas entre esses tratamentos. Para as comparações entre as cultivares, quando o F foi significativo, aplicou-se o teste de médias de Tukey para identificar as diferenças entre os grupos.

As análises foram realizadas considerando o esquema fatorial previamente definido. Além disso, foi aplicada a Metodologia de Análise de Múltiplos Fatores (MFACT), proposta por Bécue-Bertaut e Pagès (2004) e aprimorada por Escofier e Pagès (2008), com o objetivo de analisar simultaneamente múltiplas tabelas de contingência, mesmo quando estas apresentavam margens e estruturas distintas. A MFACT foi utilizada como uma extensão da Análise de Correspondência Interna (ICA) e pode ser interpretada como uma aplicação da Análise de Correspondência (CA) em uma matriz concatenada das tabelas, conforme discutido por Greenacre e Blasius (2006), permitindo assim uma comparação global entre diferentes conjuntos de dados.

A construção de uma tabela de contingência para o uso do MFACT baseia-se na interação entre linhas e colunas, como discutido por Escofier e Pagès (2008) e Greenacre e Blasius (2006). A aplicação do MFACT segue dois passos essenciais, segundo Ossani et al. (2017). O primeiro consiste na realização de uma Análise de Correspondência (CA) cada tabela, considerando os pesos $p_{i..}$ e $p_{.jt}$, representados por P_t (Tabela 1). Essa análise identifica relações e padrões nos dados.

Na etapa seguinte, a Análise de Correspondência Interna (ICA) é combinada ao MFACT para equilibrar a contribuição das diferentes subtabelas na análise global. O peso da coluna $p_{.jt}$ na ICA é ponderado por $1/\lambda_1^t$, onde $1/\lambda_1^t$ é o primeiro autovalor da Análise de Componentes Principais (PCA) da sub tabela p_t . Na ICA, os pesos são dados por $p_{i..}$ para linhas i , e $p_{.jt}$ para a coluna (j, t) .

Tabela 1 - Coeficiente relativo à tabela t nas análises CA e ICA aplicado na tabela P.

	Termo Geral	Peso das Linhas = Métrica no espaço das colunas	Peso das Colunas = Métrica no espaço das linhas
CA aplicado em $N(J_t)$	$\frac{p_{ijt} - \frac{p_{i.t}}{p_{..t}} \cdot p_{.jt}}{\frac{p_{i.t}}{p_{..t}} \cdot p_{.jt}}$	$\frac{p_{i.t}}{p_{..t}}$	$\frac{p_{.jt}}{p_{..t}}$
ICA aplicado em $N(J_t)$	$\frac{p_{ijt} - \frac{p_{i.t}}{p_{..t}} \cdot p_{.jt}}{p_{i..} \cdot p_{.jt}}$	$p_{i..}$	$p_{.jt}$

$N(J_t)$ corresponde a subnuvem do perfil da coluna que corresponde à tabela de contingência P_t . Em ICA, cada $N(J_t)$ é transferida para que o centroide coincida com o centroide global.

Conforme Ossani et al. (2017), no contexto do MFACT (combinação de CA e ICA), as distâncias entre as linhas i e l , fixada a j -ésima coluna do conjunto t , considerando o peso $\frac{p_{.jt}}{\lambda_l^t}$ é definida pela expressão:

$$d^2(i, l) = \left[\sum_t \frac{1}{\lambda_l^t} \sum_{j \in J_t} \left(\frac{p_{ijt}}{p_{i..}} - \frac{p_{ljt}}{p_{l..}} \right)^2 \cdot \frac{1}{p_{.jt}} \right] - \left[\sum_t \frac{1}{\lambda_l^t \cdot p_{.t}} \left(\frac{p_{i.t}}{p_{i..}} - \frac{p_{l.t}}{p_{l..}} \right)^2 \right].$$

A distância entre colunas no MFACT é expressa pelo quadrado da distância entre a coluna j da tabela t e coluna k , pertencente à tabela de r são definidas pelas expressões

$$d^2(i \in t, k \in r) = \sum_t \frac{1}{p_{i..}} \left[\left(\frac{p_{ijt}}{p_{.jt}} - \frac{p_{ikr}}{p_{.kr}} \right) - \left(\frac{p_{i.t}}{p_{..t}} - \frac{p_{i.r}}{p_{..r}} \right) \right]^2 \text{ e}$$

$$d^2(i \in t, k \in r) = \sum_t \frac{1}{p_{i..}} \left[\left(\frac{p_{ijt}}{p_{.jt}} - \frac{p_{i.t}}{p_{..t}} \right) - \left(\frac{p_{ikr}}{p_{.kr}} - \frac{p_{i.r}}{p_{..r}} \right) \right]^2.$$

Após o cálculo das distâncias, as representações das linhas e colunas foram analisadas em conjunto e dispostas em um mapa perceptual, sobreposto a um *biplot*. Essa visualização permite interpretar os resultados de maneira semelhante à Análise de Correspondência, facilitando a identificação de padrões e associações entre as variáveis. O ambiente R Studio foi empregado devido à sua flexibilidade e robustez, permitindo a implementação das metodologias descritas de maneira eficiente e precisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 2 são apresentados os resultados médios da caracterização das pitaias ('Boreal Red', 'Chinesa', e 'Roxa do Pará') SSL e CSL e na figura 3, os resultados da Análise de componentes Principais, Matriz das inércias/escores das variáveis e o Círculo de correlação.

Os coeficientes de variação das características da pitatia indicam uma variabilidade significativa entre as amostras. A vitamina C e a glicose, apresentara os maiores coeficientes, evidenciando grande variação nas concentrações desses componentes. Por outro lado, os fenólicos, betacianidina e a acidez registraram os menores coeficientes, o que demonstra maior uniformidade entre as amostras.

Tabela 2 – Valores médios (M), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (%CV) das características das pitaias 'Boreal Red', 'Chinesa' e 'Roxa do Pará' SSL e CSL. (Continua).

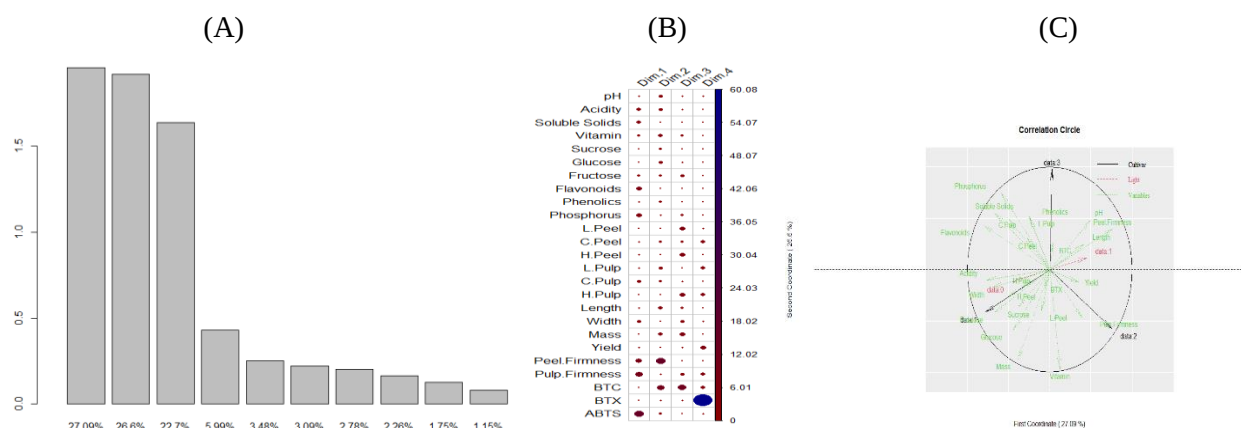
Variável	M (SSL)	DP (SSL)	CV (SSL)	M (CSL)	DP (CSL)	CV(CSL)
pH	3.28	0.22	6.72	3.19	0.24	7.62
Acidity	0.28	0.01	4.93	0.28	0.02	6.52
Soluble Solids	15.86	1.09	6.89	16.22	0.81	4.96
Vitamin C	35.59	10.85	30.49	37.99	10.80	28.42
Sucrose	1.42	0.16	11.12	1.47	0.20	13.84
Glucose	2.58	0.47	18.18	2.85	0.56	19.46
Fructose	3.60	0.38	10.55	4.65	1.13	24.37
Flavonoids	26.20	5.41	20.65	27.46	5.77	21.00
Phenolics	212.51	11.22	5.28	217.23	7.80	3.59
Phosphorus	794.50	209.14	26.32	763.05	193.06	25.30
L.Peel	43.26	1.56	3.60	45.06	1.58	3.52
C.Peel	44.26	2.19	4.95	46.62	1.99	4.27
H.Peel	17.04	3.55	20.85	23.97	4.37	18.25
L.Pulp	23.73	3.39	14.28	25.59	1.82	7.09
C.Pulp	23.24	8.18	35.19	30.75	4.17	13.56
H.Pulp	6.31	1.76	27.84	10.59	1.77	16.69

Tabela 2 – Valores médios (M), desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (%CV) das características das pitaias ‘Boreal Red’, ‘Chinesa’ e ‘Roxa do Pará’ SSL e CSL. (Conclusão).

Variável	M (SSL)	DP (SSL)	CV (SSL)	M (CSL)	DP (CSL)	CV(CSL)
Length	13.24	0.95	7.21	13.76	0.73	5.33
Width	7.70	0.46	5.97	8.57	0.83	9.67
Mass	399.16	77.99	19.54	495.79	92.42	18.64
Yield	68.48	5.47	7.99	64.79	2.52	3.89
Peel.Firmness	49.46	9.22	18.64	49.14	9.64	19.61
Pulp.Firmness	3.30	0.25	7.71	3.33	0.22	6.72
BTC	122.89	5.82	4.73	129.28	2.85	2.21
BTX	77.69	3.48	4.48	77.59	3.27	4.21
ABTS	43.29	3.95	9.11	47.04	6.28	13.36

Fonte: Autores (2024).

Figura 3 – Resultados da Análise de componentes Principais (A), Matriz das inércias/escores das variáveis (B) e o Círculo de correlação (C).



Fonte: Autores (2024).

Os resultados da Análise de Componentes Principais (ACP) mostram que os quatro primeiros componentes explicam 82,38% da variância total dos dados. O primeiro componente possui autovalor de 1,95 e é responsável por 27,09% da variância, seguido pelo segundo componente com 1,92 de autovalor e 26,60% da variância, acumulando 53,69%. O terceiro

componente contribui com 22,70%, atingindo 76,39% acumulado, e o quarto componente explica 5,99%, somando 82,38% da variância explicada.

A matriz das inércias parciais/escores das variáveis revela a contribuição relativa de cada variável para os componentes principais. As variáveis "Cultivar", "Light" e "Variables" possuem cargas significativas nos primeiros componentes, destacando-se mais nos iniciais. No Comp. 1, "Variables" apresenta a maior inércia (0,9741), seguida por "Cultivar" (0,7770) e "Light" (0,2023). No Comp. 2, "Cultivar" (0,9695) e "Variables" (0,9346) continuam com altas contribuições, enquanto "Light" contribui menos (0,0140). Já no Comp. 3, "Light" assume maior relevância (0,7612), sinalizando a mudança de peso relativo entre os componentes. A partir do Comp. 4, as contribuições decrescem, indicando que os componentes posteriores capturam variações menores nos dados.

Já ao observar o círculo de correlação nota-se que a proximidade entre as variáveis indica correlações positivas, enquanto variáveis em ângulos opostos refletem correlações negativas. As categorias como cultivar e Luz são destacadas, sugerindo que a suplementação luminosa (data 0 red) afeta as características de tonalidade da casca e polpa, açúcares como sacarose glicose e frutose, massa, dimensões enquanto a ausência de luz (data 1 red) de BTC, pH e length principalmente da cultivar 'Boreal'.

Em relação a SL, não se observou mudanças estatisticamente significativas na acidez titulável das cultivares em estudo. Já em relação a massa, houve aumento em todas as cultivares CSL, embora tenha apresentado redução estatisticamente significativa no rendimento da polpa em todas as cultivares analisadas ($p < 0,05$). Esses resultados indicam que, embora a suplementação luminosa promova um aumento na massa dos frutos, não há uma sinergia em relação ao rendimento da polpa. Os rendimentos obtidos foram inferiores aos relatados por Magalhães et al. (2019), que observaram rendimentos de polpa superiores a 75% após 36 dias após a antese, sem suplementação luminosa para a pitaia vermelha (*H. polyrhizus*).

A SL aumentou a claridade da polpa da pitaia 'Boreal Red' ($p < 0,05$). Em relação ao C*, a condição CSL foi efetiva para o aumento da variável para as cultivares 'Boreal Red' e 'Chinesa', enquanto a 'Roxa do Pará' não demonstrou diferenças significativas. Já em relação a tonalidade, CSL aumentou significativamente ($p < 0,05$) o valor de h° das cascas das cultivares 'Boreal Red' e 'Chinesa', enquanto reduziu o valor de h° da cultivar 'Roxa do Pará'.

A ausência de diferenças significativas nas dimensões das cultivares analisadas pode estar relacionada a uma similaridade fenotípica entre a *S. undatus* e *S. costaricensis*. Essa similaridade pode ser resultado de um compartilhamento de características morfológicas ou que o ambiente de cultivo exerceu influências durante o desenvolvimento das frutas (KOROTKOVA; BORSCH; ARIAS, 2017).

Em menor fração dentre os açúcares determinados, a sacarose da cultivar ‘Boreal Red’ aumentou de 1,38 para 1,70 g 100 g⁻¹ FM. Na cultivar ‘Chinesa’ houve uma diminuição de 1,56 para 1,27 g 100 g⁻¹ FM e a ‘Roxa do Pará’ não demonstrou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05\%$). Rocha, Godoy e Cunha (2020) não encontraram valores de sacarose na determinação de açúcares para *S. undatus* de polpas brancas e vermelhas. Estes resultados podem estar atrelados a diferentes fatores, como a intensidade e o tipo da luz artificial sobre cada uma das cultivares (JIANG et al., 2012; TANG et al., 2023). De acordo com Berk (2016), os açúcares constituem aproximadamente 80% dos sólidos solúveis, no qual a glicose e a frutose são os principais componentes da maioria das frutas, enquanto a sacarose é mais prevalente em certas espécies. Embora a iluminação artificial não seja aplicada diretamente sobre o fruto, é possível que haja a ocorrência de um estresse na planta sob tal condição, afetando a produção de açúcar no fruto. Entretanto, estudos posteriores para investigar a relação entre tempo de exposição e intensidade da luz e sua relação com a produção de açúcares devem ser investigados.

Açúcares são metabólitos essenciais na formação da qualidade dos frutos, uma vez que os consumidores possuem predileção por pitaias adocicadas (ORTIZ; TAKAHASHI, 2015; WEI et al., 2019). Portanto, os resultados evidenciam que o teor de glicose da cultivar ‘Boreal Red’ foi afetado positivamente pela influência da condição CSL nos parâmetros apresentados por este estudo, com teor de 3,50 g 100 g⁻¹ FM, enquanto o controle obteve 2,06 g 100 g⁻¹ FM. As cultivares ‘Chinesa’ e ‘Roxa do Pará’ não apresentaram diferença estatisticamente ($p < 0,05\%$) sob a influência da suplementação luminosa. A diferença nos teores dos açúcares entre algumas cultivares e o aumento da glicose sob a influência da suplementação luminosa na cultivar ‘Boreal Red’ também podem estar relacionadas à variabilidade genética entre as cultivares analisadas, bem como às práticas agrícolas adotadas (KOROTKOVA; BORSCH; ARIAS, 2017).

Este estudo destaca que não ocorreu diferenças significativas ($p < 0,05$) para os teores betacianina e betaxantina em todas as cultivares. Estes pigmentos fazem parte do grande grupo das betalaínas, que conferem a cor característica das pitaias (XIE et al., 2022). Apesar das betaxantinas serem os pigmentos de menor proporção nas polpas vermelhas de algumas cultivares, elas somam aos demais pigmentos betâmicos hidrossolúveis para compor o teor de betalaínas totais (ESATBEYOGLU et al., 2015; RODRIGUES et al., 2022).

Em sequência, observou-se que a suplementação luminosa como indução durante o florescimento, demonstrou efetividade estatisticamente significativa ($p < 0,05\%$) em relação ao cultivo convencional. Isso é possível ser ponderado ao avaliar diferentes variáveis que estão correlacionadas com a qualidade das frutas, como a massa, a claridade e intensidade da cor da casca e a tonalidade da polpa, além dos teores de glicose, frutose e vitamina C, para todas as cultivares.

Os dados obtidos demonstram que a suplementação luminosa resultou em aumento estatisticamente significativo na massa dos frutos, com a cultivar ‘Boreal Red’ apresentando o maior incremento em 38,10%, seguida pelas cultivares ‘Roxa do Pará’ e ‘Chinesa’, com aumentos em 20,30% e 9,50%, respectivamente. Os resultados observados estão de acordo com os de Tran, Yen e Chen (2015), que compararam frutos convencionais obtidos da produção natural no verão de 2013 com os tratados com SL, no inverso 2013-2014, no qual obtiveram aumento na massa das cultivares ‘Orejona’, ‘Rosa’, ‘Jhunbei 3’, ‘Chaozhou large’, ‘Chaozhou 5’ e ‘Small Nick’ de 196,6 para 331,4 g, de 251,7 para 472,0 g, de 176,8 para 277,2 g, de 421,2 para 541,8 g, de 314,1 para 329,0 g e de 288,2 para 350,5 g, respectivamente. Chen et al. (2019), ao avaliarem o efeito da luz azul-vermelha emitida por diodo sobre a diferenciação de botões florais e a qualidade dos frutos da pitaiá, observaram que a suplementação promoveu a melhor performance em termos de número de botões e produtividade, com um rendimento médio impressionante de 2,236 kg por planta. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o aumento na massa das frutas está associado ao processo de desenvolvimento e maturação, que inclui o aumento do teor de água, o acúmulo de açúcares e a maturação das sementes. Tal constatação é extremamente importante para os produtores, uma vez que a estabilidade da massa pode impactar positivamente a padronização do produto final, essencial para o mercado consumidor.

A análise dos parâmetros de cor é essencial para determinar a qualidade e a aceitação dos frutos pelos consumidores. A cor dos frutos é influenciada por vários fatores, incluindo genética, condições de crescimento e o grau de maturação. De acordo com os resultados

obtidos, observou-se que a suplementação luminosa afeta os parâmetros de claridade e intensidade na casca e na tonalidade da polpa de todas as cultivares em estudo. A investigação de Ntagkas et al. (2020) evidenciou que diferentes qualidades de luz LED resultam em variações na quantidade de pigmentos nas frutas, afetando diretamente os parâmetros de cor.

Os valores médios de L^* para a casca aumentaram de 43,25 para 45,06, sob a influência da suplementação luminosa ($p<0,05$). Este fato pode estar correlacionado com as variações na síntese de pigmentos ou alterações na estrutura da superfície da casca. Além disso, houve também o aumento da tonalidade da polpa das frutas de 6,31 para 10,58.

A suplementação luminosa resultou em um aumento estatisticamente significativo da cromaticidade da casca de todas as variedades de pitaias analisadas, indicando que a exposição à luz pode intensificar a cor da casca. Esse efeito pode ser relacionado com as alterações na concentração de pigmentos como as betalaínas presentes nas cascas das pitaias (CHEN et al., 2023). De acordo com Zhang et al., (2018), os maiores acúmulos de pigmentos responsáveis pela cor são observados em plantas que recebem maior incidência de luz. Para as polpas das frutas, observou-se um aumento estatisticamente significativo na cromaticidade para as variedades ‘Boreal Red’ e ‘Chinesa’, enquanto a variedade ‘Roxa do Pará’ apresentou uma redução no valor de C^* ($p<0,05$).

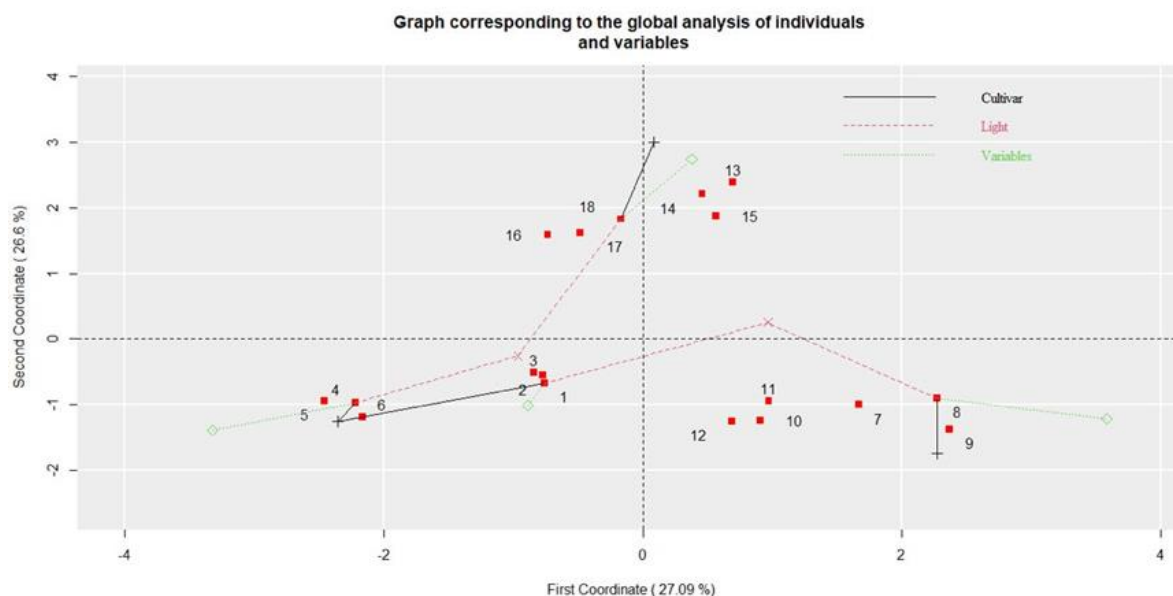
O ângulo hue (h°) é um parâmetro que define a tonalidade da cor, começando no eixo $+a^*$ e sendo expresso em graus. No sistema CIELAB, 0° corresponde ao eixo $+a^*$ (vermelho), 90° ao eixo $+b^*$ (amarelo), 180° ao eixo $-a^*$ (verde) e 270° ao eixo $-b^*$ (azul) (TIBOLA et al., 2005). Os valores de ângulo hue para a polpa dos frutos indicam diferenças estatisticamente significativas na tonalidade devido à suplementação luminosa. Para as polpas das pitaias, observou-se um aumento estatisticamente significativo de h° em todas as cultivares analisadas. Os valores de h° indicam que há uma tendência da cor vermelha nas cascas e polpas das pitaias. A cor da casca e da polpa das pitaias resulta da biossíntese e acúmulo de betalaínas, pigmentos que oferecem diversos benefícios para a saúde, incluindo a atividade antioxidante, que auxilia na prevenção ao câncer, efeitos hipolipemiantes, ação anti-inflamatória, entre outras funções relacionadas à saúde (DU et al., 2018; ZHAO et al., 2018; YOUN et al., 2019; CHEN et al., 2023).

Em relação a frutose, todas as cultivares na condição CSL obtiveram teores acima das pitaias SSL. A cultivar ‘Boreal Red’ CSL apresentou teor de 5,59, enquanto o controle obteve

4,03 g 100 g⁻¹ FM. A cultivar ‘Chinesa’ apresentou teor de 4,37 em CSL enquanto o controle 3,39 g 100 g⁻¹ FM, e a cultivar ‘Roxa do Pará’ apresentou 3,81 em CSL e o controle obteve 3,37 g 100 g⁻¹ FM. Ambos os teores (SSL e CSL) foram semelhantes ao encontrado para pitaias de polpa vermelha (*S. undatus*) com cultivo convencional com 4,25 g 100 g⁻¹ FM (ROCHA; GODOY; CUNHA, 2020) e superior a cultivar *S. costaricensis* com 2,77 g 100 g⁻¹ FM (COSTANTINO et al., 2023). Os teores em destaque contribuem para o sabor doce da pitia, tornando a fruta ainda mais agradável e com uma palatabilidade com maior apreço, encorajando o consumo de alimentos nutritivos que geram energia para as células (LI et al., 2018; ORTIZ; TAKAHASHI, 2015; WEI et al., 2019).

A análise destes dados também foi realizada por meio do gráfico bidimensional (Figura 4), onde a disposição dos indivíduos e das variáveis foi representada em duas dimensões principais. No gráfico, os indivíduos estão representados por pontos numerados, enquanto as variáveis são indicadas por formas geométricas. As linhas tracejadas são utilizadas para ilustrar a influência de fatores como cultivar e suplementação luminosa sobre a distribuição dos indivíduos.

Figura 4 – Gráfico correspondente à análise global de indivíduos e variáveis.



Fonte: Autores (2024).

Os resultados revelam que a suplementação luminosa exerce um efeito significativo sobre a posição dos indivíduos no gráfico, evidenciado pela dispersão dos pontos. Indivíduos localizados em áreas distintas do gráfico indicam respostas diferenciadas às variáveis analisadas, com destaque para a variação na qualidade das pitaias CSL. Essa variação pode ser associada à alteração em parâmetros que contribuem com as características nutricionais da fruta. O gráfico destaca que em CSL, os indivíduos podem apresentar perfis de qualidade diferenciados, o que sugere que a luz afeta não só o crescimento da planta, mas também a formação de alguns atributos.

A análise global dos indivíduos indica que a presença de luz e as cultivares avaliadas têm impactos não uniformes, refletindo nas características finais das pitaias. Os padrões de agrupamento observados no gráfico sugerem que essas variáveis devem ser consideradas de forma integrada no desenvolvimento de estratégias para otimização da qualidade da fruta, especialmente em sistemas de cultivo controlado. Portanto, a interação entre luz e cultivar é crucial para compreender as variações na qualidade das pitaias, e os gráficos proporcionam uma visão clara e visualmente acessível dessa complexa relação.

Diferenças significativas foram observadas (Tabela 3) entre todas as pitaias em relação a avaliação das variáveis pH, sólidos solúveis, massa, cor (C^* e h°) firmeza, e através dos teores de frutose, flavonoides totais, fenólicos totais, atividade antioxidante por ABTS e complexo de fosfomolibdênio e vitamina C.

De acordo com a Tabela 3, a cultivar Boreal é diferente da ‘Roxa do Pará’, e a ‘Chinesa’ semelhante às demais em relação ao pH ($p < 0,05$). Os valores médios de pH das pitaias variaram entre 3,05 e 3,39, sendo inferiores aos encontrados para a pitia vermelha (*H. polyrhizus*) até 40 dias após a antese, que variaram entre 3,63 e 4,48 conforme reportado por Magalhães et al. (2019). Os diferentes valores de pH, pode ser devido a redução dos ácidos orgânicos (cítrico e málico) que reflete no aumento do pH à medida que o fruto amadurece, além das variações genéticas que resultam em um maior ou menor acúmulo desses ácidos que serão degradados, como também do ambiente de cultivo e a interação com práticas de manejo (KOROTKOVA; BORSCH; ARIAS, 2017; XIE et al., 2022).

Tabela 3 – Teores de pH, Sólidos solúveis, Massa, Cor (C* e h°), Firmeza, TFC, TFC, atividade antioxidante por ABTS, complexo de fosfomolibdênio (CF) e vitamina C, das cultivares ‘Boreal Red’, ‘Chinesa’ e ‘Roxa do Pará’.

Parâmetros	‘Boreal Red’	‘Chinesa’	‘Roxa do Pará’	CV%
pH	3.05 ± 0.04b*	3.26 ± 0.18b ab	3.39 ± 0.27a	6.25
Sólidos Solúveis (%)	16.43 ± 0.18a	14.97 ± 0.79b	16.71 ± 0.56a	3.48
Massa (g)	519.84 ± 00.0a	481.69 ± 00.0b	340.69 ± 00.0bc	5.93
C* Polpa	19.08 ± 8.69b	34,08 ± 6.43a	17.96 ± 1.62a	13.70
h° Casca	18.07 ± 7.05b	27.72 ± 5.56a	15.42 ± 2.67b	15.62
Firmeza Casca (N)	35.28 ± 3.58b	53.51 ± 4.78a	54.84 ± 1.23a	7.93
Firmeza Polpa (N)	3.25 ± 0.16b	3.48 ± 0.22a	3.16 ± 0.17b	6.10
Frutose	4.90 ± 1.28a	3.88 ± 0.54b	3.59 ± 0.41b	14.66
TFC (mg QE g ⁻¹ MF)	29.81 ± 2.07a	20.26 ± 2.37c	25.36 ± 5.96b	16.13
TPC (mg GAE 100 g ⁻¹ FM)	212.82 ± 12.12b	210.29 ± 00.0b	221.48 ± 9.00a	8.72
ABTS (% de Redução)	46.01 ± 2.13a	40.51 ± 3.36b	48.90 ± 5.92a	9.48
CF (mg AA 100 g ⁻¹ MF)	841.16 ± 00.0b	941.67 ± 00.0a	555.15 ± 00.0c	10.32
Vitamina C (mg AA 100 g ⁻¹ FM)	40.56 ± 2.57b	46.75 ± 2.81a	23.05 ± 1.65c	6.07

*Cultivares com médias seguidas com a mesma letra na mesma linha não diferem entre si ($p < 0,05\%$ p/T Tukey). Fonte: Autores (2024).

Diferenças significativas ($p < 0,05$) foram observadas no teor de sólidos solúveis das cultivares, o que indica uma variação pertinente na composição das pitaias. As cultivares ‘Boreal Red’ e ‘Roxa do Pará’ não diferenciaram entre si, com teores de 16,71 e 16,43%, porém foram estatisticamente diferentes da pitia ‘Chinesa’ com teor inferior de 14,97%. Fatores como variedade, maturidade fisiológica, cultivo podem influenciar a concentração da variável mesmo sendo de gêneros iguais como no caso das *S. undatus*. A suplementação luminosa elevou os teores de sólidos solúveis em todas as cultivares analisadas. Tran, Yen e Chen (2015) avaliaram a resposta de floração de uma coleção de germoplasma de pitia vermelha à suplementação luminosa, e observaram que as frutas produzidas na entressafra alcançaram teores de sólidos solúveis superiores em comparação com as frutas produzidas em época de safra ($p < 0,05$). Esses resultados podem indicar que a suplementação luminosa contribui com o aumento da concentração de açúcares nas frutas.

Dentre as cultivares, a ‘Boreal Red’ teve a menor firmeza da casca com valor médio de 35,28 N, em comparação com a ‘Chinesa’ e ‘Roxa do Pará’, que estatisticamente foram iguais, com valores de 53.51 e 54.84, respectivamente. Em relação a polpa, observa-se que a ‘Roxa do Pará’ é mais macia (3,16 N) que as cultivares ‘Boreal Red’ (3,25 N) e ‘Chinesa’ (3,48 N), sendo está a mais firme entre as pitaias analisadas ($p < 0,05\%$). Fatores como o perfil genético distinto que determina a composição celular de frutos e o estágio de maturação podem impactar nas diferenças observadas (DA COSTA et al., 2024), além da quantidade de água retida nas células que influencia a turgidez e, consequentemente a firmeza das pitaias. Frutos menos firmes, podem resultar em maior suscetibilidade a danos físicos, comprometendo a integridade estrutural dos frutos e reduzindo sua vida de prateleira (UBA et al., 2020).

A capacidade antioxidante relatada em pitaias está associada intrinsecamente à sua rica composição fitoquímica, como compostos fenólicos, flavonoides e betacianinas, que têm funções importantes na promoção à saúde (HUA et al., 2018; TRINDADE et al., 2023; ZITHA et al., 2022). Os polifenóis são fitoquímicos com poderosas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, anticancerígenas, antimicrobianas, antineurodegenerativas, hematoprotetoras e atuam na prevenção da obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares e infecções (DA COSTA et al., 2023; NISHIKITO et al., 2023). Em frutos, os polifenóis além de sua ação protetora, contribuem relevantemente para a formação do *flavor* e cor (ATTAR et al., 2022).

Em relação a comparação do TFC entre as cultivares (Tabela 3), foi observado diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,05\%$). A cultivar ‘Roxa do Pará’ (221,48 mg GAE 100 g⁻¹ FM) obteve o maior teor de seguido pela ‘Boreal Red’ (212,82 mg GAE 100 g⁻¹ FM) e ‘Chinesa’ (210,29 mg GAE 100 g⁻¹ FM), sendo estas estatisticamente iguais. Outros trabalhos em pitaias relatam teores de TFC que variam entre 22,90 mg GAE 100 g⁻¹ (*S. megalanthus*) a 133,06 mg GAE 100 g⁻¹ (*H. polyrhizus*, cv. ‘Royal Red’) (CONSTANTINO et al., 2021; PEPE et al., 2024). Portanto, as três cultivares estudadas neste experimento são potencialmente ricas no teor destes compostos bioativos.

Muitos grupos compõem a classe dos polifenóis, e dentre estes estão os flavonoides. Estes metabólitos secundários com forte atividade antioxidante desempenham funções essenciais na mediação de plantas em resposta a fatores ambientais. Nos frutos também participam de diferentes processos biológicos, como o de coloração (SHEN et al., 2022). O teor de flavonoides totais não apresentou influência da suplementação luminosa nas cultivares,

entretanto, diferenças estatísticas ($p < 0,05\%$) foram destacadas entre as cultivares, no qual a ‘Boreal Red’ detém o maior teor de 29.81 seguido pela ‘Roxa do Pará’ e ‘Chinesa’ com 25,36 e 20,26 mg QE 100 g⁻¹, respectivamente. Em consonância com a atividade de aumento de coloração em frutos, as três cultivares analisadas quanto aos parâmetros de cor da casca (L* e C*) foram superiores na condição CSL em relação à SSL. Os valores de L*, C* e h° foram elevados em 30,85 %, 78,61 % e 21,09 %, respectivamente. Outros experimentos encontraram teores de flavonoides totais variando de 4,84–19,36 mg QE 100 g⁻¹ (*S. undatus*) (RAMOS et al., 2020; USLU; ÖZCAN, 2021). Portanto, todas as espécies estudadas são ricas no teor de flavonoides totais, entretanto, a aplicação do tratamento CSL não foi efetivo nesta variável em nenhuma das cultivares.

As cultivares ‘Boreal Red’ e ‘Roxa do Pará’ apresentaram maior poder antioxidante pelos métodos ABTS e complexo fosfomolibdênio em comparação aos tratamentos SSL, com exceção da pitiaia ‘Chinesa’, com menor valor no complexo fosfomolibdênio. Porém essas alterações no teor de antioxidantes não foram significativas ($p < 0,05$). A pitiaia ‘Roxa do Pará’, seguida da Boreal Red se destacaram no tratamento SSL em relação às duas análises antioxidantes realizadas, com ênfase na pitiaia ‘Roxa do Pará’, que apresentou poder de redução de 48,97 % no método ABTS e 922,16 mg AA 100 g⁻¹ MF no complexo fosfomolibdênio. Este último método tem como princípio a avaliação da atividade antioxidante total através da redução de Mo(VI) a Mo(V), na presença de compostos eletro doadores da amostra, e posterior formação do complexo fosfomolibdênio, em pH ácido e temperatura consideravelmente alta (DA COSTA et al., 2023). Em experimento com sucos de pitiaia (*H. polyrhizus*) em diferentes concentrações, Manan et al., (2019) identificaram a capacidade de redução pelo método ABTS variando entre 38,69–92,66 %, e do teor de complexo fosfomolibdênio variando entre 7,81–28,94 mg AA 100 mL⁻¹ de suco.

Em relação ao teor de vitamina C, a cultivar ‘Chinesa’ apresentou o maior teor de 46.75 mg AA 100 g⁻¹ FM, seguida pela ‘Boreal Red’ e ‘Roxa do Pará’ com 40.56 e 23.05 mg AA 100 g⁻¹ FM, respectivamente. Trabalhos em diferentes pitaias quantificando o teor de vitamina C, identificaram valores entre 10,13 mg AA 100 g⁻¹ em *S. ocamponis*, 20 mg AA 100 g⁻¹ em *H. polyrhizus* e 31,11 mg AA 100 g⁻¹ em *S. undatus* (SENADHEERA & ABEYSINGHE, 2015; HERNÁNDEZ-RAMOS et al., 2020). A cultivar ‘Chinesa’ apresentou o maior teor de AA no estudo, com valor de 47,05 mg AA 100 g⁻¹ em SSL, a concentração em questão semelhante àquela encontrada na laranja, que é a principal fonte de vitamina C para os humanos. A

quantidade diária recomendada varia dependendo de fatores como idade, sexo e condições de saúde do indivíduo (RANDHAWA et al., 2020). Para adultos, as recomendações são de 75 mg para mulheres e 90 mg para homens (LEWIS et al., 2020; RANDHAWA et al., 2020). As cultivares ‘Boreal Red’ e ‘Roxa do Pará’, apresentaram menor teor de ascorbato que a variedade ‘Chinesa’. Contudo, as pitaias com suplementação luminosa evidenciaram aumento significativo em ácido ascórbico em relação as frutas sem suplementação.

Para estudos futuros abordagens como a investigação com diferentes comprimentos de onda e os efeitos da suplementação luminosa ao longo de várias safras, e como essa utilização afeta a vida útil da planta podem ser de grande interesse para a comunidade científica e agricultores relacionados com a fruticultura. Além da viabilidade econômica em torno do custo benefício da implementação de sistemas de iluminação artificial em larga escala considerando a eficiência energética, os custos de instalação e manutenção, e o impacto ambiental associado.

4. CONCLUSÃO

A descoberta de que as plantas da pitaiá tratam noites interrompidas como novos dias pode significativamente aumentar sua produtividade e melhorar a qualidade dos frutos, aumentando a sua massa e elevando o teor de açúcares e vitamina C. A suplementação luminosa durante a floração não apenas possibilita a extensão da produção, mas também permite que os produtores acessem mercados de maior valor durante a entressafra, quando a demanda por produtos frescos é elevada e a oferta escassa.

REFERÊNCIAS

ARIVALAGAN, M. et al. Biochemical and nutritional characterization of dragon fruit (Hylocereus species). **Food Chemistry**, v. 353, p. 129426, 2021.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). **Official Methods of Analysis**. 21. Ed. Gaithersburg, 2019.

ATTAR, Ş. H. et al. Nutritional Analysis of Red-Purple and White-Fleshed Pitaya (Hylocereus) Species. **Molecules**, v. 27, n. 3, p. 808, 2022.

BERK, Zeki. **Processamento de frutas cítricas**. Academic press, 2016.

CONSTANTINO, L. V. et al. Nutritional quality and technological potential of pitaya species. **Semina: Ciências Agrárias**, p. 2023–2030, 2021.

CHEN, J. et al. Identification of HubHLH family and key role of HubHLH159 in betalain biosynthesis by activating the transcription of HuADH1, HuCYP76AD1-1, and HuDODA1 in pitaya. **Plant Science**, v. 328, p. 111595, 2023.

CHEN, Xin-yuan et al. Effect of the blue-red light ratio in supplemental light-emitting diode on pitaya flower bud differentiation and fruit quality. **Journal of Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)**. v. 45, 2019.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças : fisiologia e manuseio**. 2. ed., rev. e ampl. Lavras:UFLA. 2005.

DA COSTA, C. A. R. et al. Phenolic compounds profile and antioxidant activity of purple passion fruit's pulp, peel and seed at different maturation stages. **Scientia Horticulturae**, v. 321, p. 112244, 2023.

DOS SANTOS, H. R.; DOS SANTOS, P. V. D.; AMARAL, T. M. Seleção de variedade de pitaya para implantação no Vale do São Francisco com auxílio da análise de decisão multicritério. **Revista em agronegócio e Meio Ambiente**, v. 17, n. 1, e11715, 2024.

DU, J. et al. Betaine Supplementation Enhances Lipid Metabolism and Improves Insulin Resistance in Mice Fed a High-Fat Diet. **Nutrients**, v. 10, n. 2, p. 131, 2018.

FAN, J. Y. Studies on forcing culture and storage in pitaya (*Hylocereus* spp.). **Master thesis**. Pingtung University of Science and Technology. Taiwan. 2010.

GIOVANNONI, J. et al. The Epigenome and Transcriptional Dynamics of Fruit Ripening. **Annual Review of Plant Biology**, v. 68, n. 1, p. 61–84, 2017.

HOA, N. V. et al. Developing GAP systems for dragon fruit producers and exporters in Binh Thuan and Tien Giang provinces. In: **Proceeding of dragon fruit workshop**. 2008.

HUA, Q. et al. Metabolomic characterization of pitaya fruit from three red-skinned cultivars with different pulp colors. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 126, p. 117–125, 2018.

JIANG, Y.-L. et al. The Photoperiod-regulated Bud Formation of Red Pitaya (*Hylocereus* sp.). **HortScience**, v. 47, n. 8, p. 1063–1067, 2012.

LAHBIB, K. et al. Changes in Yield-Related Traits, Phytochemical Composition, and Antioxidant Activity of Pepper (*Capsicum annuum*) Depending on Its Variety, Fruit Position, and Ripening Stage. **Foods**, v. 12, n. 21, p. 3948, 2023.

LEWIS, L. N. et al. Lower Dietary and Circulating Vitamin C in Middle- and Older-Aged Men and Women Are Associated with Lower Estimated Skeletal Muscle Mass. **The Journal of Nutrition**, v. 150, n. 10, p. 2789–2798, 2020.

LIU, R. et al. Synergistic effect of 1-methylcyclopropene and carvacrol on preservation of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). **Food Chemistry**, v. 283, p. 588–595, 2019.

LI, X. et al. Methyl jasmonate enhances wound-induced phenolic accumulation in pitaya fruit by regulating sugar content and energy status. **Postharvest Biology and Technology**, v. 137, p. 106–112, 2018.

MAGALHÃES, D. S. et al. Changes in the physical and physico-chemical characteristics of red-pulp dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 253, p. 180–186, 2019.

MANAN, E. A. M. et al. Characterization of Antioxidant Activities in Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Pulp Water-based Extract. **Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences**, v. 61, n. 2, p. 170–180, 2019.

NERD, A.; MIZRAHY, Y. Reproductive biology of cactus fruit crops, in *Horticultural Reviews*. **Oxford: Wiley**, v. 18, p. 21–46, 2016.

NISHIKITO, D. F. et al. Anti-Inflammatory, Antioxidant, and Other Health Effects of Dragon Fruit and Potential Delivery Systems for Its Bioactive Compounds. **Pharmaceutics**, v. 15, n. 1, p. 159, 2023.

NTAGKAS, N. et al. Modulation of the Tomato Fruit Metabolome by LED Light. **Metabolites**, v. 10, n. 6, p. 266, 2020.

ORTIZ, T. A.; TAKAHASHI, L. S. A. Physical and chemical characteristics of pitaya fruits at physiological maturity. **Genetics and Molecular Research**, v. 14, n. 14422–14439, 2015.

PAN, R. et al. Piriformospora indica promotes early flowering in Arabidopsis through regulation of the photoperiod and gibberellin pathways. **PLOS ONE**, v. 12, n. 12, p. e0189791, 2017.

PAN, Y.-W.; CHENG, J.-H.; SUN, D.-W. Inhibition of fruit softening by cold plasma treatments: affecting factors and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 12, p. 1935–1946, 2021.

PEPE, A. V. et al. Comparing Physico-Chemical and Antioxidant Properties of White-Fleshed and Red-Fleshed Pitaya (*Hylocereus* spp.) Cultivars. **Applied Fruit Science**, v. 66, n. 3, p. 797–802, 2024.

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric Quantitation of Antioxidant Capacity through the Formation of a Phosphomolybdenum Complex: Specific Application to the Determination of Vitamin E. **Analytical Biochemistry**, v. 269, n. 2, p. 337–341, 1999.

QINGZHU, H. et al. Transcriptomic Analysis Reveals Key Genes Related to Betalain Biosynthesis in Pulp Coloration of *Hylocereus polyrhizus*. **Frontiers in Plant Science**, v. 6, 2016.

RAMOS, L. H. et al. Frutos da pitaiá *Hylocereus undatus* e *H. ocamponis*: componentes nutricionais e antioxidantes. **Revista de Botânica Aplicada e Qualidade de Alimentos**, v. 93, 2020.

RANDHAWA, M. A. et al. Amassing of Hydroxymethylfurfural, 2- Furfural and 5- Methyl furfural in orange (*Citrus reticulata*) juice during storage. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 382–386, 2020.

ROCHA, L. DE J. F. G.; GODOY, R. L. DE O.; CUNHA, C. P. DA. Estudo de alguns compostos bioativos das pitayas de polpas branca e vermelha (*cereus undatus*, sinónimo: *hylocereus guatemalensis*, *h.undatus*) / study of some bioactive compounds of white and red pulp pitayas (*cereus undatus*, synonymy: *hylocereus guatemalensis*, *h.undatus*). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 66217–66223, 2020.

SANTOS, D. N. dos.; PIO, L. A. S. FALEIRO, F. G. Pitaya: **Uma alternativa frutífera**. Brasília, DF: ProImpress. 2022.

SARADHULDHAT, P.; KAEWSONGSANG, K.; SUVITTAWAT, K. Induced off-season flowering by supplemented fluorescent light in dragon fruit (*Hylocereus undatus*). **Journal of ISSAAS [International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences](Philippines)**, v. 15, n. 1, 2009

SCHNEIDER, C. A.; RASBAND, W. S.; ELICEIRI, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671–675, 2012.

SHEN, N. et al. Plant flavonoids: Classification, distribution, biosynthesis, and antioxidant activity. **Food Chemistry**, v. 383, p. 132531, 2022.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. **Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents**. *Am. J. Enol. Vitc.*, v. 16, p.144-168, 1965.

STROHECKER, R. ZARAGOZA, F. M., HENNING, H. M. **Análisis de vitaminas: Métodos comprobados**. Paz Montalvo, Madrid. 1967.

SONG, Y. H. et al. Photoperiodic Flowering: Time Measurement Mechanisms in Leaves. **Annual Review of Plant Biology**, v. 66, n. 1, p. 441–464, 2015.

TIBOLA, C. S. et al. Inibição da ação do etileno na conservação de caquis (*Diospyrus kaki* L.) “Fuyu”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 36–39, 2005.

TOHIDI, B.; RAHIMMALEK, M.; ARZANI, A. Essential oil composition, total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of *Thymus* species collected from different regions of Iran. **Food Chemistry**, v. 220, p. 153–161, 2017.

TRAN, D. H.; YEN, C. R.; CHEN, Y. K. H. Flowering response of a red pitaya germplasm collection to lighting addition. **International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering**, v. 9, n. 2, p. 175-179, 2015.

TRINDADE, A. R. et al. Pitaya as a New Alternative Crop for Iberian Peninsula: Biology and Edaphoclimatic Requirements. **Plants**, v. 12, n. 18, p. 3212, 2023.

UBA, F. et al. Physical and mechanical properties of locally cultivated tomatoes in Sunyani, Ghana. **Scientific African**, v. 10, p. e00616, 2020.

USLU, N.; ÖZCAN, M. M. The effect of ultrasound-vacuum-assisted extraction on bioactive properties of pitaya (*Hylocereus undatus*). **International Journal of Food Science & Technology**, v. 56, n. 12, p. 6618–6625, 2021.

WANG, Meng et al. Light Supplementation in Pitaya Orchards Induces Pitaya Flowering in Winter by Promoting Phytohormone Biosynthesis. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 9, p. 4794, 2024.

WEI, W. et al. Pitaya HpWRKY3 Is Associated with Fruit Sugar Accumulation by Transcriptionally Modulating Sucrose Metabolic Genes HpINV2 and HpSuSy1. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 8, p. 1890, 2019.

YEN, C. R.; CHANG, F. R. Forcing pitaya (*Hylocereus undatus* Britt. & Rose) by chemicals, controlled day length and temperature. In: **Proc. Symp. Enhancing Competitiveness of Fruit Ind., Taichung District Agricultural Improvement Station**. Taiwan, p. 163-170, 1997.

XIAO, L. et al. Effects of light quality on plant development and fruit metabolism and their regulation by plant growth regulators in tomato. **Scientia Horticulturae**, v. 300, p. 111076, 2022.

XIE, F. et al. Metabolic Profiling of Sugars and Organic Acids, and Expression Analyses of Metabolism-Associated Genes in Two Yellow-Peel Pitaya Species. **Plants**, v. 11, n. 5, p. 694, 2022.

XIONG, R. et al. Transcriptomic analysis of flower induction for long-day pitaya by supplementary lighting in short-day winter season. **BMC Genomics**, v. 21, n. 1, p. 329, 2020.

YOUN, J.; CHO, E.; LEE, J. E. Association of choline and betaine levels with cancer incidence and survival: A meta-analysis. **Clinical Nutrition**, v. 38, n. 1, p. 100–109, 2019.

ZHANG, Y. et al. Effect of Red and Blue Light on Anthocyanin Accumulation and Differential Gene Expression in Strawberry (*Fragaria × ananassa*). **Molecules**, v. 23, n. 4, p. 820, 2018.

ZHAO, G. et al. Betaine in Inflammation: Mechanistic Aspects and Applications. **Frontiers in Immunology**, v. 9, 2018.

ZITHA, E. Z. M. et al. Changes in the bioactive compounds and antioxidant activity in red-fleshed dragon fruit during its development. **Scientia Horticulturae**, v. 291, p. 110611, 2022.

TERCEIRA PARTE

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As descobertas sobre a pitaia amarela colombiana revela como o amadurecimento dessa fruta impacta sua qualidade e valor nutricional. À medida que a fruta se desenvolve, seu tamanho e peso aumentam, e também aumentam os compostos que combatem os radicais livres, tornando-a mais nutritiva. Além disso, as mudanças na estrutura da parede celular fazem com que a pitaia fique mais macia. Essas informações são valiosas para a agricultura, pois ajudam os agricultores a identificar o momento ideal para a colheita e a otimizar o manejo do cultivo. Isso pode melhorar a qualidade do fruto e aumentar seu valor no mercado, tornando a pitaia uma fruta exótica ainda mais atrativa e valorizada.

Apesar dos proeminentes estudos registrados na literatura em relação ao cultivo protegido de culturas ornamentais de vegetais e frutas, a adoção de práticas de horticultura protegida de alta eficiência, especialmente com a utilização de diodos emissores de luz, tem se expandido significativamente nos últimos anos. Refletindo sobre como as plantas reagem a noites interrompidas, fica claro que temos uma grande chance de melhorar nossa produção agrícola. Tal comportamento, não só pode resultar em frutas de melhor qualidade como também ajudar os agricultores a aumentar sua rentabilidade. Com a demanda por frutas frescas subindo durante a entressafra, acessar mercados mais lucrativos é uma oportunidade a ser mais explorada o que se atrela ao implemento de tecnologias como a suplementação luminosa artificial, o que nos leva a pensar em um futuro agrícola mais produtivo e consolidado para pitaias.